
FONDO PIZZOFALCONE

TRAITÉ

DE

NIVELLEMENT,

Par J. J. VERKAVEN,

BACHELIER DE L'UNIVERSITÉ, PROFESSEUR D'ANALYSE A L'ÉCOLE MILITAIRE SPÉCIALE DE CAVALERIE, A S.-GERMAIN-EN-LAYE.

Revu, augmenté et publié par un ancien ingénieur, officier au Corps Royal d'État Major.



A PARIS,

CHEZ BARROIS L'AINÉ, LIBRAIRE,

RUE DE SEINE, N°. 10, F. S. G.

1820.

DE L'IMPRIMERIE D'A. CLO, RUE SAINT-JACQUES, N°. 38.

AVERTISSEMENT.

Feu M. Verkaven, après avoir publié la dernière édition de son *Art de lever les plans*, s'était occupé à rassembler en un seul volume tout ce que l'on a écrit de plus essentiel sur le Nivellement, pour en former un recueil utile, particulièrement destiné aux personnes qui se livrent aux applications usuelles de l'art de niveler, sans avoir de grandes connaissances mathématiques. Chargé du soin de revoir son travail resté imparfait, de le publier et d'en diriger l'impression, j'ai cherché à compléter le plan de l'auteur, en donnant la théorie du niveau des fontainiers de Constantinople décrit par M. le général Andreossy, en réunissant les notions nécessaires pour se livrer au Nivellement barométrique, et enfin en indi-

quant l'emploi du cercle répétiteur, comme suppléant à tous les niveaux.

Si les soins que j'ai donnés à ce volume peuvent contribuer à lui mériter les suffrages du public, je croirai avoir atteint le but que je m'étais proposé, comme éditeur.

P. M. N. B.....

ERRATA.

Page 12, *ligne* dernière note, *lisez* Schooten.
Page 39, *ligne* 5, O''B'', *lisez* O'B'.
Page 80, *ligne* 26, *effacez* 1°.
Page 159, *ligne* antépénultième, (63''') *lisez* (62''').
Page 352, *ligne* première, *lisez*, n°. 2, page 33.

DISCOURS

PRÉLIMINAIRE.

Le but de cet ouvrage est d'offrir en un seul volume, tout ce qu'on a publié de plus essentiel sur la science du Nivellement. J'entrepris cette tâche, à une époque où son importance naturelle, semblait devoir s'accroître, à un degré considérable. Des ordres venaient d'être donnés, soit pour achever plusieurs canaux en construction, soit pour en creuser de nouveaux; et entre autres celui de l'Ourcq. Ces travaux ne peuvent manquer d'être suivis et bientôt mis à fin, sous un Gouvernement non moins occupé de l'utilité, que de la félicité publique.

Voilà ce que je me suis dit, et ce qui m'a fait reprendre un travail long-temps interrompu. La même réflexion me résout à le donner au public. Si l'on est tenté d'y reprendre, dans certains cas, des détails trop minutieux, on doit faire attention que les lois du niveau sont très-impérieuses, que le Nivellement exige la plus grande précision, que les moindres détails influent essentiellement sur les résultats, et que les plus petites négligences répétées, occasionnent, après une opération de quelque étendue, des erreurs très-sensibles. Ainsi, l'on peut

dire que dans cette partie, tout est de rigueur, et que les à peu près doivent en être exclus.

Jusqu'à l'abbé Picard, le premier géomètre qui ait écrit sur le Nivellement, on ne connaissait d'autre instrument à niveler que le Chorobate des anciens, qui est d'une extrême simplicité. Depuis Picard, c'est-à-dire, dans l'intervalle d'un siècle et demi, d'autres savans ont imaginé des niveaux plus ou moins compliqués, et d'un usage plus ou moins facile. J'en donne la description après celle du Chorobate, avec tous les développemens susceptibles de les bien faire connaître, ainsi que leur vérification et rectification. Ces développemens m'ont été suggérés, non par l'utilité d'instrumens dont la plupart ne servent plus, mais par l'intention d'exciter le lecteur à les comparer avec ceux que l'on emploie aujourd'hui. Ces derniers, dont M. Chézy, ancien directeur des Ponts et Chaussées, est l'inventeur, ont été perfectionnés par divers ingénieurs, et nommément par MM. Egaux et Lenoir. On pourra juger des progrès que l'art a faits, depuis Picard jusqu'à ce moment, du degré de perfection donné aux instrumens, et de simplicité imprimée à la pratique du Nivellement. J'ai aussi indiqué plusieurs niveaux, soit récemment inventés, soit anciens rendus meilleurs, et qui tous ont été approuvés par l'Académie des Sciences.

Quelques-uns des instrumens décrits au chapitre II de cet ouvrage, ont eu pour auteurs des hommes que l'Europe entière, a justement proclamés illustres. C'est par les puissantes combinaisons de leur génie, qu'a été élevée au rang de science, une pratique machinale et grossière, dont les résultats n'offraient nulle garantie; et dont les erreurs étaient d'autant plus graves, qu'elles por-

taient sur des opérations essentielles et d'un besoin journalier. La vie des savans dont je veux parler, stérile en événemens, ne peut par conséquent satisfaire une oiseuse curiosité; mais elle renferme, sous le rapport des sciences, une foule de détails intéressans pour ceux qui les cultivent, et les jeunes gens pourront surtout y puiser une nouvelle ardeur de s'instruire, en voyant jusqu'où sont arrivés des hommes, dont le point de départ fut bien plus éloigné du but que le leur. Je n'ai donc pas à craindre que les notices suivantes, paraissent déplacées dans cet avant-propos. Toutefois, j'avertis, pour prévenir plus favorablement mes lecteurs, que l'ingénieux auteur (1) des *Mondes*, et des *Éloges des premiers académiciens*, m'en a fourni les principaux traits.

NOTICE SUR PICARD.

J'ai dit que des géomètres qui ont écrit sur le Nivellement, le plus ancien est l'abbé Picard. Son ouvrage contient tout ce qu'il était possible de dire, à une époque où la science des mathématiques n'était pas poussée aussi loin qu'elle l'est aujourd'hui. On ignore la date précise de la naissance de cet auteur; seulement on sait qu'il vit le jour à la Flèche, dans le temps où Képler et Galilée venaient, pour ainsi dire, de découvrir un nouvel univers.

Il paraît que Picard s'appliqua particulièrement à l'astronomie, puisqu'on a de lui des observations faites en 1659. Un des élémens les plus essentiels

(1) Fontenelle.

de cette science était alors inconnu : c'est la valeur exacte du diamètre de la terre; et comme, pour en déterminer la longueur, on n'avait besoin que de mesurer un degré du méridien, cette mesure avait été tentée par Snellius et par Riccioli. Mais il se trouvait entre leurs résultats, une différence de sept mille toises, qui aurait suffi pour faire soupçonner l'un ou l'autre d'inexactitude, quand bien même on n'aurait pas connu celle des opérations de tous deux.

Picard apporta dans les siennes, les précautions en apparence les plus minutieuses : ses premiers soins furent de perfectionner les instrumens dont il devait se servir; puis il prit pour théâtre de ses opérations, le terrain situé entre la ferme de Malvoisine près Paris, et Sourdon près Amiens, lieux qui ont à peu près la même longitude.

Il est clair, en supposant la terre sphérique, que si Picard pouvait mesurer la longueur itinéraire de l'arc de méridien, intercepté par les parallèles des deux lieux mentionnés, ainsi que le nombre de degrés de latitude, que cet arc embrasse, un calcul fort simple devait lui fournir la longueur itinéraire du grand cercle de la terre.

Pour arriver à la première mesure, Picard lia Malvoisine à Sourdon, par un réseau ou suite continue de triangles; et afin de connaître le degré d'exactitude de ses observations, il mesura constamment les trois angles de ces triangles, avec un quart de cercle de plus de trois pieds de rayon, armé de deux lunettes. Or, pour atteindre son but, il devait avoir au moins la longueur itinéraire d'un des côtés de l'un des triangles du réseau; aussi mesura-t-il deux fois, et avec des soins extrêmes, celui qui passait sur le chemin de Ville-

juif à Juvisy. La différence des deux mesures ne fut que de 2 pieds, et sa longueur moyenne de 5,663 toises du Châtelet. Avec ce côté, le calcul des triangles successifs du réseau, donna facilement la distance itinéraire de Malvoisine à Sourdon, comptée le long des côtés de ces triangles. Mais pour mieux acquérir la certitude de ses résultats, Picard mesura vers l'extrémité septentrionale du réseau, la longueur d'un nouveau côté de triangle, qui lui servit à calculer celle d'un autre côté, déjà fournie par les premiers calculs; et ne trouva qu'une différence de 7 toises, sur 17,564; ce qui dut lui garantir le succès de son entreprise.

Alors il s'occupa d'orienter les côtés des triangles du réseau, sur lesquels il comptait la distance itinéraire de Malvoisine à Sourdon, en se servant de l'étoile polaire. Ainsi il se mit à même de projeter cette distance sur le méridien de Sourdon; et il obtint enfin, pour la mesure itinéraire de l'arc de méridien, intercepté entre les parallèles des lieux mentionnés, une longueur de 68,347 toises 3 pieds du Châtelet.

Cela fait, Picard n'avait donc plus besoin que de connaître le nombre de degrés de latitude, embrassés par l'arc de méridien mesuré; pour l'obtenir, il observa la latitude de Sourdon, en un point plus au nord de 65 toises, que celui qui avait servi de sommet au triangle du réseau qui y aboutissait. Il observa de même la latitude de Malvoisine, mais en un point plus méridional de 18 toises. La différence de ces latitudes fut de 1° 11′ 57″, et la longueur de l'arc de méridien correspondant, de 68,430 toises 3 pieds, ce qui fournit pour le degré, une lon-

gueur de 57,064 toises 3 pieds. Néanmoins Picard assigna au degré, celle de 57,060 toises; par suite d'une observation de latitude postérieure, faite à Amiens, qu'il avait rattaché au réseau, par l'addition de quelques triangles. D'après cela, la longueur itinéraire du grand cercle de la terre, obtenue par ce savant, est de 20,541,600 toises; et son rayon de 3,269,297 toises.

Dans la détermination des latitudes des divers points du réseau, Picard se servit de l'étoile du genou de Cassiopée, qui passe fort près de leurs zéniths; afin de se débarrasser des erreurs causées par la réfraction, dont les lois n'étaient pas bien connues de son temps. Mais ses instrumens, étant fort au-dessous de la perfection de ceux qu'ont employés les géomètres, à qui nous devons la nouvelle détermination de la longueur du méridien; il n'est pas étonnant qu'ils aient trouvé la mesure de Picard trop grande de 18,640 toises, puisque ses instrumens ne pouvaient pas le garantir d'une erreur de 4″ de degré, sur la différence de latitude observée; c'est-à-dire de 60 toises, sur la mesure itinéraire du degré du méridien, et par conséquent de 21,600 toises, sur la longueur totale de ce cercle. Cet accord de l'ancienne avec la nouvelle mesure, obtenue par les moyens les plus exacts, montre avec quelle précision la longueur du méridien terrestre a été déterminée.

Je ne suivrai point Picard, dans tous les travaux astronomiques dont Colbert le chargea. Le principal fut de dresser une carte nouvelle de la France entière. Pour y parvenir, ce savant proposa de continuer jusqu'aux extrémités du royaume, la

ligne méridienne tracée à l'Observatoire, et de rapporter à cette ligne, la longitude de tous les lieux principaux, dont on déterminerait la latitude, par des observations exactes. Ce travail fut interrompu par la mort du ministre qui l'avait ordonné. Il a été repris dans la suite; mais c'est à Picard que nous avons la première obligation de la carte de France, dont MM. de Cassini ont conçu et dirigé l'exécution; si cette carte, qui porte le nom de ces hommes célèbres à plus d'un titre, n'est plus aujourd'hui le plus bel ouvrage dans ce genre, elle sera long-temps encore le plus vaste, et d'une immense utilité publique.

On a de Picard des tables de réfraction, et un grand nombre d'observations faites tant à Paris qu'à Uranibourg (1). C'est à lui que sont dues l'idée, et l'exécution de l'ouvrage, intitulé *la Connaissance des temps*. Il le publia pour la première fois en 1679, et continua jusqu'à sa mort de le donner chaque année. Cet ouvrage qui depuis n'a pas été interrompu, et qui, entre les mains de MM. Jeaurat et de Lalande, n'était déjà plus borné à de simples éphémérides, est devenu, aujourd'hui que le bureau des longitudes en a la rédaction, un recueil précieux d'observations, et de tables astronomiques. Chaque astronome y voit, quelles pourront être dans l'année, les observations intéressantes, pour les objets de ses recherches.

Les travaux de Versailles, exigeaient des nivelle-

(1) Château bâti par Ticho-Brahé, dans la petite île danoise de Huen, sur le Sund, où ce fameux astronome faisait ses observations. Il y fut honoré de la visite de plusieurs souverains. Sa mort arriva en 1601.

mens immenses, dont Picard eut la direction. Cet art n'était qu'une pratique grossière; il la corrigea, et ses tables, ainsi que les opérations très-simples, indiquées dans son *Traité du Nivellement*, mirent les praticiens en état d'obtenir une exactitude supérieure, à celle qu'exigent les besoins usuels.

Le projet d'amener une portion de la rivière de Loire à Versailles, fut communiqué à Picard par Colbert. L'illustre constructeur du canal de Languedoc, Riquet, devait exécuter cette entreprise; mais Picard, qu'un nivellement suffisant, quoique peu approfondi, du terrain, avait convaincu qu'il n'y aurait pas assez de pente, pour amener la Loire sur la montagne de Satory, vis-à-vis de Versailles, où l'on devait la conduire, déclara le projet impraticable. Ceci se passa vers la fin de septembre 1674. A cette même époque, et pour la même fin, Picard fut chargé par le ministre, de niveler la Loire, ce qu'il fit avec le niveau de son invention, décrit (28). Riquet s'était servi de pinnules au lieu de lunette, n'ayant eu que des niveaux de maçon, dont le perpendicule était suspendu par une ficelle, au lieu du cheveu très-fin employé par Picard.

Il résulta des opérations, que fit ce dernier, pour niveler depuis Versailles, jusqu'au point de partage du canal de Briare; et avant d'avoir vu jusqu'où il faudrait remonter, pour prendre la Loire, et examiné les terrains, tant au delà qu'en deçà du canal, pour conduire un aqueduc jusqu'à Satory, que l'endroit du point de partage du canal, par où il aurait dû passer, était de 14 toises plus bas que cette montagne. En conséquence, le projet fut abandonné.

Quatre ans après, en 1678, sur le rapport de Vivier, qui dressait alors la carte de l'Orléanais, on eut l'idée de faire venir à Versailles la rivière de Juine, grossie de plusieurs étangs et sources d'eaux vives. Picard eut ordre d'examiner si la chose était praticable. Accompagné de Vivier, il reprit les nivellemens qu'il avait déjà poussés jusqu'à Corbeil, et les continua jusqu'à Orléans, en passant par l'étang du Grand-Vau, situé dans la forêt. Ses opérations lui démontrèrent que le rez de chaussée du château de Versailles, était plus haut de dix toises que cet étang.

On prescrivit à Picard de continuer les nivellemens, pour s'assurer si un canal pourrait être conduit de la Loire, jusqu'au château de Versailles. Les précédens avaient indiqué qu'il fallait traverser le canal de Briare, passer par l'étang du Grand-Vau qui s'écoule dans la Seine, et par ceux de la Cour-Dieu dont les eaux tombent dans la Loire. Comme il était impossible de niveler dans la forêt d'Orléans, autrement que par les grandes routes, on suivit celle de Gergeau. En traversant depuis l'étang du bois, et montant vers la Cour-Dieu, on trouva que le plus haut terrain pris sur ladite route de Gergeau, à cent cinquante toises environ au-delà de l'endroit où elle est coupée par celle du Hallier, était élevé de treize toises au-dessus de l'étang du Bois, et de dix au-dessus de celui du Grand-Vau; qu'ainsi ce même terrain était plus haut de quatre toises que le rez de chaussée du château de Versailles.

On reconnut aussi, par occasion, que le pied de la grille de l'étang le plus haut de la Cour-Dieu, qui se trouvait pour lors à sec, était élevé d'environ neuf pieds, au-dessus de la superficie de l'é-

tang du Grand-Vau, et de cinq au-dessus de la chaussée du même étang. Ceci est rapporté en faveur du projet éventuel de joindre la Loire avec la Seine de ce côté-là.

Voulant s'assurer encore plus, de l'impossibilité d'amener la Loire à Versailles, Picard continua ses nivellemens. Ils lui firent conclure que, pour trouver le niveau du plus haut point du canal de Briare, qui était à peu près le même que celui du réservoir au-dessus de la grotte de Versailles, il fallait remonter la Loire environ une lieue au delà de Pouilly; et que, pour avoir une pente susceptible de conduire l'eau dans un aqueduc, on devait remonter au moins jusqu'à la Charité.

Les ordres du Roi portaient, que Picard reviendrait de la forêt d'Orléans par la Beauce, en nivelant jusqu'à l'étang de Trapes, qu'on savait être plus haut d'environ deux toises, que la superficie du réservoir au-dessus de la grotte.

En conséquence, deux nivellemens furent faits par des chemins différens, et donnèrent, à une toise près, le même résultat. On se trouvait toujours plus bas que l'étang de Trapes, de onze à douze toises. Ces nivellemens montraient d'une manière évidente, que la Beauce, à la sortie de la forêt d'Orléans, était plus basse non-seulement que l'étang de Trapes, mais encore que le rez de chaussée du château de Versailles. Il n'en fallait pas davantage, pour prononcer l'impossibilité de conduire l'eau de la Loire, à fleur de terre, jusqu'à ce château. Cette entreprise que l'on n'aurait pu exécuter, qu'en élevant un aqueduc depuis le milieu de la forêt d'Orléans jusqu'à Angerville, fut, par suite des dernières opérations, totalement abandonnée.

Picard se vit encore chargé d'un nivellement, pour conduire à Versailles, l'eau de la rivière de Bièvre, autrement dite des Gobelins. En partant de l'étang de Bois-d'Arcy, et passant par celui de Trapes, il reconnut que le premier était élevé de neuf pieds au-dessus du second, et que celui-ci l'était de quinze au-dessus du réservoir de la grotte de Versailles. L'étang de Bois-d'Arcy se trouvait ainsi de quatre toises plus haut que le dessus de la grotte. On travailla, sur ces données, et l'on construisit un aqueduc de sept cent cinquante pieds de long, au travers de la montagne de Satory, à quatorze toises au-dessous du plus haut terrain. Quand cet ouvrage fut achevé, les eaux lâchées dans la conduite, arrivèrent à leur destination, comme Picard l'avait annoncé. Le Roi lui en témoigna sa satisfaction dans les termes les plus flatteurs. Ce savant fut consulté, quand on proposa de faire le grand canal de Versailles. Joly, gouverneur de la Samaritaine, en qui l'on avait alors quelque confiance, nivela le terrain, et trouva dix pieds de pente depuis l'endroit où le canal devait être commencé, jusqu'à celui où il devait finir. Cette donnée, si elle eût été exacte, aurait rendu l'entreprise impossible. Il eût fallu élever le terrain de dix pieds du côté le plus bas, et l'eau n'aurait pu demeurer sur une terre rapportée, que moyennant des dépenses énormes. D'après l'invitation de Colbert, plusieurs académiciens refirent le nivellement, et leurs opérations n'ayant donné que deux pieds de pente, au lieu des dix de Joly, le canal fut exécuté. Il a neuf cents toises de long sur trente de large.

Picard fut l'un des huit premiers savans réunis par Colbert, pour former l'Académie des Sciences,

en 1666; il avait une grande dextérité pour observer, et, par suite, ses opérations étaient de la plus rare exactitude. Sa santé s'affaiblit, dès l'année 1680, au point qu'il ne fut plus en état d'exécuter par lui-même, les grands travaux dont il avait fait agréer le projet au ministre. Quatre ans après, en 1684, il termina une vie consacrée toute entière, à des occupations utiles, dont les fruits, recueillis par ses contemporains, et par la postérité, attachent à son nom, le genre de gloire le plus réel, et le plus honorable, quoique le moins ambitionné. Le trait suivant peint avantageusement son caractère : dans le voyage qu'il fit à Uranibourg, il connut Rœmer, et, devinant son génie, il l'appela en France, lui procura la protection de Colbert et les bienfaits de Louis XIV. Moins sensible à l'intérêt personnel, qu'au plaisir de donner à sa patrie un homme utile, Picard ne fut point frappé de la crainte d'y avoir, dans Rœmer, un rival occupé du même objet que lui, et dont la réputation pourrait égaler, ou même surpasser la sienne.

NOTICE SUR HUYGHENS.

Christian Huyghens naquit à La Haye, le 14 avril 1629. Envoyé à Leyde en 1644, pour apprendre le droit, il voulut connaître la géométrie de Descartes, et l'étudia sous un habile professeur (1). Bientôt le jeune géomètre, enrichit de remarques nouvelles et ingénieuses, le commentaire que son maître avait fait sur cet ouvrage; et dès 1651, il fut en état de relever des erreurs dans ceux de Grégoire de Saint-

(1) Schoolen.

Vincent, que les Jésuites et les envieux, voulaient placer à côté de Descartes. « Ainsi, dit M. de Condorcet, on se plaît à disputer au génie vivant, la « place qu'il mérite; et qu'importe que la postérité lui fasse justice! l'envie se croit soulagée, si « elle a pu troubler ses jours » (1).

Après avoir vengé Descartes, Huyghens se montra digne de le remplacer. En 1657, sept ans après la mort de ce philosophe, il parvint à rectifier la Cissoïde; jusque-là, deux courbes, la Parabole cubique et la Cycloïde, étaient les seules dont on eût obtenu la rectification.

Huyghens partagea avec deux Anglais, Wallis et Wren, la gloire de découvrir les lois du choc des corps. Il paraît que les anciens ne soupçonnèrent même point l'existence de ces lois. Descartes les avait cherchées, mais à l'aide d'un principe abstrait et trop généralisé qui l'égara. La Société Royale de Londres, ayant proposé cette question en 1669, Huyghens, Wallis et Wren, lui adressèrent à peu près en même temps, la théorie des véritables lois du choc des corps; mais comme le premier les avait connues dès 1661, l'honneur de l'invention lui appartient exclusivement.

L'horlogerie, ou l'art de mesurer le temps par le moyen d'une machine, n'est susceptible d'exactitude, qu'autant que l'on peut faire parcourir à un corps, des espaces égaux, dans des temps égaux. Huyghens pensa que si un pendule faisait ses oscillations dans des temps égaux, on pourrait faire répondre à chacune d'elles, le passage d'une dent

(1) Eloge de Huyghens.

d'une roue dentée régulière, et que l'on produirait ainsi un mouvement uniforme. Il trouva de plus, que la Cycloïde était la courbe, qu'un pendule simple devait décrire, pour que ses oscillations, grandes ou petites, eussent lieu en des temps égaux ; et que le moyen de lui faire décrire une Cycloïde, était de le rendre flexible, sans nuire à son inextensibilité, et de le forcer à s'appliquer alternativement, sur deux Cycloïdes, égales à celle qu'il devait décrire, rapprochées par leur origine, au point de suspension de ce pendule, qui dans l'état de repos, devait leur servir de tangente commune.

Mais il restait à étendre ces résultats au pendule composé, le seul d'une exécution possible ; c'est ce à quoi Huyghens parvint, en cherchant le centre d'oscillation d'un tel pendule ; c'est à dire celui de ses points, qui se meut comme s'il appartenait à un pendule simple. Ce savant résolut ainsi le problème dont il s'était proposé la solution. Le calcul intégral a depuis rendu cette dernière recherche bien facile ; mais il ne fallait peut-être pas moins de génie, pour se passer de ce calcul, que pour en faire la découverte.

Quelques difficultés de pratique, ont fait abandonner les oscillations dans les arcs cycloïdaux. On leur a substitué des oscillations dans de petits arcs de cercle, et on l'a pu faire sans nuire à l'exactitude. En effet, il résulte de la théorie de Huyghens, que l'arc cycloïdal, pris vers le point le plus bas, s'écarte très-peu, d'un petit arc circulaire, ayant pour rayon le double du diamètre du cercle générateur de la Cycloïde. Ainsi, c'est à ce savant que l'on doit l'uniformité du mouvement dans les horloges à pendules ; pour celles qui, comme les montres, étaient destinées à toute sorte de situation,

il substitua au pendule, qui ne pouvait y trouver place, un ressort spiral, dont il prouva que les vibrations, seraient également isochrones.

On voit combien l'art de l'horlogerie, exigeait de découvertes dans la géométrie et dans la mécanique, pour être porté à un certain degré d'exactitude. Le génie de Huyghens suffit à tout, et cet exemple frappant, doit fermer la bouche à ceux qui, ne connaissant ni les sciences, ni leur histoire, se plaisent à répéter que les grandes découvertes dans les arts utiles, sont dues au hasard. Huyghens en a fait encore beaucoup d'autres, parmi lesquelles on cite celle de la *théorie des forces centrales*. Newton recueillit toute la gloire de cette découverte, et peut-être ce qui en appartient à Huyghens, n'est pas ce qu'il y avait de moins difficile à trouver. La dioptrique, et plus particulièrement l'astronomie, furent aussi au nombre de ses occupations. Il aperçut le premier, l'un des cinq satellites de la planète de Saturne, le quatrième, suivant l'ordre de leurs dimensions; l'honneur de découvrir les autres était réservé à l'illustre Cassini. Des observations faites à l'équateur, et dont Huyghens eut connaissance, lui firent annoncer le premier, que la terre était nécessairement aplatie vers les pôles. Un petit traité sur le calcul des probabilités, lui servit à composer la première partie de son *Art de conjecturer*.

Si l'on ajoute aux découvertes dues à ce savant, la première idée du micromètre, les méthodes plus simples dont il enrichit la géométrie de Descartes, de beaux théorèmes sur la Cycloïde, la Logarithmique et d'autres courbes; un grand nombre d'observations intéressantes, des machines ingénieuses, telles que le niveau décrit (36), on aura l'idée la plus parfaite, d'une vie qui n'eut guère d'autres

événemens que des découvertes, et la gloire qu'elles acquéraient à leur auteur (1).

L'enfance de Huyghens, avait annoncé ce qu'il devait être un jour. A neuf ans, il savait l'arithmétique, la géographie et la musique, sans que pour les apprendre, il eût négligé l'étude du grec et du latin. Son talent pour la mécanique, commença dès l'âge de treize ans à se développer; déjà il connaissait les machines, et s'essayait même à en construire.

Dans le cours de l'année 1649, Huyghens, alors âgé de vingt ans, accompagna en Danemarck le comte Henri de Nassau. Descartes était en Suède, et le jeune philosophe aurait bien voulu converser avec lui. Mais le comte de Nassau, retourna trop tôt en Hollande: Huyghens fut privé de voir un grand homme, près d'être enlevé à un monde, qui n'avait pas su l'apprécier; et Descartes n'eut pas le plaisir de prévoir, ce que la philosophie devait espérer de Huyghens. Celui-ci fit depuis 1655 jusqu'en 1663, plusieurs voyages tant en France, qu'en Angleterre, et fut reçu docteur en droit de l'université d'Angers, où les protestans étaient encore admis. La Société

---

(1) M. Antide Janvier, a mis en tête d'un ouvrage publié par lui, sur les révolutions des corps célestes par le mécanisme des rouages, un mémoire de Huyghens, qu'il a traduit du latin, et qui contient la description d'un instrument de cette espèce, sous le nom de *Planétaire automate*, qu'Huyghens avait imaginé, et fait exécuter en 1682. Par là, M. Janvier a rendu un juste hommage à l'homme de génie, dont il fait gloire d'être le disciple.

Royale de Londres, le reçut aussi dans son sein. Venu en 1666 à Paris pour jouir, sur l'invitation de Colbert, des encouragemens que Louis XIV donnait aux sciences, il siégea jusqu'en 1681 à l'Académie dont il passait avec raison, pour l'un des membres les plus illustres. Les édits contre les protestans le décidèrent à quitter la France. On essaya en vain de le retenir; dédaignant une protection particulière et privilégiée, qui n'aurait plus été celle des lois, il retourna dans sa patrie chercher la liberté et la paix. La fin de ses jours fut troublée par des chagrins domestiques. Peut-être, sa famille, au sein de laquelle il vivait, ne lui pardonna pas d'avoir renoncé à de brillans avantages, qui eussent rejailli sur elle, et de n'avoir voulu être qu'un grand homme.

Huyghens avait connu Leibnitz à Paris, et celui-ci avait senti particulièrement dans sa société, se développer en lui-même le goût et le génie des mathématiques. Sa correspondance avec Bernoulli, dépôt des plus intimes sentimens de ces deux amis, montre quelle profonde estime ils avaient pour Huyghens, combien ils étaient avides de ses manuscrits, et avec quelle fierté ils opposaient son suffrage, à la foule des adversaires qu'avait attirés aux calculs de l'infini, le double mérite d'être nouveaux et sublimes. Si quelque chose a droit de flatter l'amour propre, ce sont de tels éloges, donnés par de grands hommes dans le secret, et auxquels la malignité ne peut soupçonner un motif, qui en diminue le prix.

Huyghens mourut le 5 juin 1695, âgé de 66 ans. On regarda comme l'effet d'un excès de travail, sa mort, que la perte totale de ses facultés avait précédée de quelques mois. Un accident de même na-

ture, lui était arrivé durant son séjour à Paris; mais une excursion dans son pays natal, avait suffi pour rétablir sa santé, pour rendre à son génie toutes ses forces, et, ce qui paraîtra plus singulier encore, pour réintégrer dans sa mémoire, les connaissances qui s'en étaient échappées. Après sa rechute, il n'eut que quelques momens lucides, et ce furent les derniers de sa vie; il en profita heureusement pour s'occuper de ses manuscrits, et laissa à deux de ses élèves, Burcher de Volder, et Bernhard Fuken, le soin de les mettre en ordre.

On rapporte qu'étant à Paris, Huyghens avait connu la célèbre Ninon, et fait pour elle d'assez mauvais vers. Il est permis de révoquer en doute cette anecdote, d'après le caractère de ce savant, le genre de ses occupations, et son goût pour la retraite. Sa conduite à l'égard de Hartsoëker, rappelée par Fontenelle, dans l'éloge de ce dernier, prouve qu'il avait une âme franche et élevée tout ensemble. Les disputes polémiques où il fut engagé, ont été oubliées avec les noms de ses adversaires. Le sien vivra tant que les mathématiques et les arts seront cultivés. S'il n'a pas laissé une réputation aussi brillante que celle de Newton, c'est qu'avec un génie peut-être égal, il n'a pu néanmoins, qu'acheminer et préparer la révolution que Newton a consommée, dans le calcul et dans la philosophie.

NOTICE SUR ROEMER.

Rœmer, né à Copenhague en 1664, travailla d'abord sous Bartholin, que le Gouvernement danois avait chargé de mettre en ordre les manuscrits de Ticho-Brahé. Le Danemarck s'honorait alors du grand homme qu'il avait produit, et dont la vie n'avait été qu'une suite de persécutions. Peu de génies ont échappé à cette injustice; souvent même c'est au milieu des hommages les plus unanimes, et les plus flatteurs, qu'ils sont le plus ardemment persécutés. Ainsi, Descartes ne put trouver le repos ni en France, ni en Hollande; et cependant tous les hommes distingués des deux pays, faisaient gloire d'être de ses disciples.

Rœmer fut, comme je l'ai dit, connu de Picard qui l'attira en France vers l'année 1672. Bientôt admis dans l'Académie des Sciences, il donna le premier, en 1675, à cette compagnie, la preuve du mouvement progressif de la lumière, et la mesure de sa vitesse. Il avait observé, pendant plusieurs années, les éclipses du premier des satellites de Jupiter, et trouvé constamment qu'elles avançaient vers les oppositions de cette planète, tandis qu'elles retardaient vers ses conjonctions. Il expliqua cette singularité, en attribuant à la lumière réfléchie par ce satellite, un mouvement progressif, en vertu duquel elle parcourt le diamètre de l'orbe annuel de la terre, différence de ses distances à Jupiter lors des positions mentionnées, dans un espace de temps d'environ seize minutes, excès des retards sur les avances observés. Rœmer conclut de cette explication, que la lumière nous vient du soleil en huit minutes de temps environ.

Cette découverte eut d'abord des contradicteurs.

Cassini, qui avait observé les mêmes phénomènes que Rœmer, rejeta et combattit son explication, frappé de ce qu'elle ne s'accordait pas avec les inégalités des autres satellites; mais elle a été confirmée depuis, d'une manière victorieuse, par Bradley. Ce savant Anglais a démontré que l'aberration des étoiles fixes, avait la même cause que le retardement des immersions, et des émersions, des satellites de Jupiter; et que leur lumière mettait à parcourir le diametre de l'orbite terrestre, à peu près le même temps que celle des satellites. Rœmer était, comme l'on voit, bien près d'arriver à cette découverte de l'aberration.

Il avait quitté la France en même temps, et par les mêmes raisons que Huyghens, et était retourné dans son pays. Le roi de Danemarck le nomma son astronome; et dès lors, il fit de la recherche de la parallaxe du grand orbe, le principal objet de ses travaux. Après avoir amassé pendant dix-huit ans, des observations faites avec une précision, et une sagacité peu communes, il se préparait à en donner les résultats, lorsqu'il mourut le 19 septembre 1710. Horrebow, son élève, a publié avec sa vie, l'exposé de ses recherches et découvertes. Il lui attribue, celle des épicycloïdes, et prétend qu'avant personne, son maître a conclu de leur génération, qu'en donnant aux dents des roues des machines, la forme d'un arc de ces courbes, le frottement serait le moindre possible. La Hire s'est attribué cette idée, et Rœmer qui vivait encore a gardé le silence. Mais Leibnitz, pour lors à Paris, rendit en faveur du philosophe danois, un témoignage d'après lequel on ne peut refuser à ce dernier, le mérite de la découverte.

Le roi de Danemarck ne se contenta pas d'hono-

rer Rœmer d'une stérile protection, il l'employa utilement pour son service : les ports, les arsenaux, les monnaies, furent soumis à l'inspection de ce savant. Il construisit un niveau décrit (40), et s'occupa du soin de procurer à son pays, des mesures, et des poids, ayant pour base une unite fixe, qui se retrouvât toujours; et que le temps ne pût altérer. Non content de tirer de son génie des découvertes utiles à ses concitoyens, il parcourut l'Europe, et revint à Copenhague, chargé de tout ce qu'il avait remarqué d'ingénieux, dans les procédés des arts, ou dans les inventions mécaniques. Le Danemarck lui fut ainsi redevable d'une espèce de conquêtes, qui l'enrichit plus réellement, que ne font d'ordinaire, celles qui sont le prix de la victoire.

Rœmer avait été fait, en 1705, conseiller d'état, et premier magistrat de Copenhague. Il garda cette place jusqu'à sa mort, arrivée après cinq ans d'une administration pure, et qui le fit regretter de tout le peuple. Heureusement pour les habitans de Copenhague, Frédéric IV était supérieur à ce préjugé, si commun dans les cours, que les savans sont incapables de gérer des emplois administratifs. A dire vrai, si l'on prend l'esprit d'intrigue pour celui des affaires, et l'art de tromper et d'opprimer les hommes, pour celui de les gouverner, on a raison de croire que les savans n'y sont pas propres, et qu'une âme qui s'est long-temps nourrie de l'amour de la vérité, et de la gloire, ne peut guère ni sentir la nécessité, ni prendre l'habitude de ce mélange de fausseté et de bassesse que, par un étrange abus de mots, on décore du nom d'habileté.

Rœmer mourut sans enfans, quoiqu'il eût été marié deux fois. Ses femmes, mortes avant lui, étaient l'une et l'autre de la famille Bartholin, et

filles, la première de l'astronome, la seconde de l'anatomiste de ce nom.

NOTICE SUR LA HIRE.

Philippe de La Hire naquit à Paris, le 18 mars 1640. Son père était peintre ordinaire du Roi, et professeur à l'Académie de Peinture et de Sculpture. Il avait obtenu ces places, et, ce qui est encore plus, une grande réputation, sans avoir eu de maître, pour aider au développement du génie dont la nature l'avait doué. Son fils, qui promettait beaucoup, fut destiné à la même profession. Il apprit d'abord le dessin, puis la perspective, si nécessaire aux peintres, et étudia aussi la gnomonique. Le plus léger prétexte lui suffisait pour chercher à étendre ses connaissances : mais, au milieu des sciences diverses qui occupaient le jeune peintre, on put, d'après une préférence aussi marquée que surprenante, dans un âge si tendre, prévoir qu'il se changerait en un grand géomètre.

A dix-sept ans, il tomba dans un état d'infirmité presque continuelle; surtout des palpitations de cœur très-violentes, le faisaient souffrir et s'inquiéter vivement; il crut que le voyage d'Italie, qui lui était nécessaire pour son art, pourrait aussi être utile à sa santé, et il l'entreprit en 1660.

Dans ce pays, plus riche qu'aucun autre en monumens antiques, et qui, de ces précieux restes, a vu naître d'excellens ouvrages modernes, La Hire ne s'attacha d'abord qu'à repaître ses yeux de tant d'objets différens, qui jetaient dans son imagination les semences du beau. Mais à Venise, où la vie est fort oisive, à moins qu'on n'y soit plongé dans des

plaisirs, qui n'avaient nul attrait pour lui, il s'appliqua fortement à la géométrie, et surtout aux sections coniques d'Apollonius.

Le caractère du jeune La Hire, l'attachait à un pays où les dehors du moins, sont sérieux et sages, et où l'air de folie, n'est point un mérite que l'on affecte. Il aimait les manières circonspectes et mesurées des Italiens; par ce motif, il eût volontiers prolongé son séjour au milieu de cette nation; il la quitta néanmoins au bout de quatre ans, bien résolu à la revoir, projet qu'il n'a point exécuté.

De retour à Paris, il continua ses études géométriques, qui devinrent dès lors de plus en plus suivies et profondes. M. Desargues, l'un des bons mathématiciens de cette capitale, où ils étoient peu nombreux, et M. Bosse, fameux graveur, avaient fait une première partie d'un Traité de la coupe des pierres, matière alors toute neuve; mais quand ils voulurent travailler à la seconde partie, ils sentirent que leur géométrie s'embarrassait, et s'adressèrent à La Hire, qui les secourut efficacement, en leur fournissant sept propositions, tirées de la Théorie des sections coniques. Bosse les fit imprimer en 1672, dans une brochure in-folio. Ce fut ainsi que La Hire fit connaître au public qu'il était géomètre.

Il soutint dignement ce nom, par quelques ouvrages qu'il donna en 1673 et 1676, et qui tous roulaient sur les sections coniques, à l'exception d'un petit Traité de la Cycloïde, courbe alors à la mode, et encore plus digne qu'on ne croyait d'occuper les savans.

Enfin la réputation de La Hire s'accrut en peu de temps, au point de le faire désirer dans l'Académie des Sciences, où il entra en 1675.

L'année suivante il publia, en un volume in-12, trois traités intitulés : 1°. *Nouveaux Élémens des sections coniques*; 2°. *Les Lieux géométriques*; 3°. *La Construction des équations*. Les deux premiers étaient faits principalement, pour développer des mystères de la Géométrie de Descartes. Les principes en étaient si bien posés, malgré la difficulté naturelle à ces sortes de matières, que quand, plus de trente ans après, il en fut question dans l'Académie, à l'occasion de quelques écrits de M. Rolle, La Hire n'eut besoin que de consulter son ancien ouvrage, et d'en reprendre le fil.

Colbert avait conçu le dessein d'une carte générale du Royaume. D'habiles ingénieurs avaient déjà travaillé à celle des côtes, plus importante que le reste, à cause des ports de mer; mais ces ouvrages n'avaient été faits que par parties détachées, et il fallait les lier ensemble, travail qui demandait une certaine habitude des observations célestes, sans lesquelles on ne pouvait l'exécuter. La Hire, et Picard, en furent chargés. En 1679 ils allèrent, par ordre du Roi, en Bretagne, et l'année suivante en Guienne. Ils firent une correction très-importante à la côte de Gascogne, en la rendant droite, de courbe qu'elle était sur les cartes anciennes, et en la faisant rentrer dans les terres; opération qui rectifiait la géographie, et rendait la navigation plus sûre.

En 1681, La Hire eut ordre de se séparer de son collègue, et d'aller déterminer les positions de Calais, et de Dunkerque. Il mesura aussi la largeur du Pas-de-Calais, depuis la pointe du bastion du Risban, qui est du côté de la mer, en allant vers Boulogne, jusqu'au château de Douvres en Angleterre. Cette largeur, qu'il trouva être de vingt-

un mille trois cent soixante toises, fut la base de ses triangles. Les opérations de ce genre exigent, non pas une théorie profonde, mais beaucoup d'adresse et de précision, des soins, des précautions, qui semblent minutieuses, et sont pourtant indispensables.

Pour faire la carte générale, La Hire alla sur les côtes de Provence en 1682. Dans tous ces voyages il ne se bornait pas aux observations qui étaient son principal objet, il en faisait aussi sur les variations de l'aiguille aimantée, et sur les réfractions au sommet des montagnes. Il ne suivait pas seulement les ordres du Roi, mais aussi son goût et son ardeur de s'instruire. Dans la même année 1682, il donna un *Traité de Gnomonique*, qu'il fit réimprimer en 1698, avec beaucoup d'additions. Cette science, qu'il éclaircit au moyen de principes et de démonstrations, fut d'ailleurs réduite, par lui, aux opérations les plus faciles et les plus sûres.

Il a déjà été parlé, dans ce discours, de la fameuse méridienne commencée par Picard en 1669. La Hire la continua vers le nord de Paris en 1673, tandis que Cassini la poussait du côté du sud; mais ni l'un ni l'autre ne finirent alors leur ouvrage. Colbert étant mort en 1683, cette grande entreprise fut interrompue. Louvois appliqua les géomètres de l'Académie, à d'immenses nivellemens, nécessaires pour les aqueducs, et les conduites d'eau, que le Roi voulait faire. En 1684, La Hire fit le nivellement de la petite rivière d'Eure, qui passe à Chartres, et trouva qu'en la prenant à deux lieues environ au delà de cette ville, elle était de quatre-vingt-un pieds plus haute que le réservoir de la grotte de Versailles. Ce résultat frappa agréable-

ment le ministre et le Roi : on voyait les eaux de l'Eure arriver à Versailles de vingt-cinq lieues. Mais La Hire représenta qu'avant d'entreprendre des travaux aussi considérables, il jugeait à propos de recommencer le nivellement, parce qu'il pouvait s'être trompé dans quelques opérations, ou dans le calcul. Ce ne fut pas sans peine que Louvois, jaloux de servir avec promptitude le Roi, dans tous ses goûts et fantaisies, consentit à cette nouvelle opération. Elle eut lieu en 1685, avec un instrument de l'invention de La Hire, décrit (42), et le second résultat ne différa du premier que d'un pied ou deux.

Le même instrument servit, à son auteur, pour exécuter plusieurs autres nivellemens ordonnés par le ministre ; car alors il était fort question de conduire des eaux ; et celles de Versailles ont eu cela de bon, qu'elles ont porté à un haut point, la science du Nivellement, et celle de l'hydraulique.

En 1685, parut le grand ouvrage de La Hire, intitulé : *Sectiones conicæ, in novem libros distributæ.* On voyait pour la première fois, la théorie des sections coniques toute entière et en corps, déduite de principes nouveaux, et d'une rare simplicité. Cet ouvrage eut beaucoup de réputation dans l'Europe savante, et fit regarder La Hire comme un auteur original, sur une matière qui renferme à elle seule, tout ce que la géométrie a de plus utile, et qui, en même temps, sert assez souvent de base aux spéculateurs les plus ardens.

Deux ans après, La Hire se montra comme astronome, en donnant des tables du soleil, et de la lune, et des méthodes faciles pour le calcul des éclipses. Il y joignit, en 1689, un problème important d'astronomie, et la description d'une ma-

chine par lui inventée, qui indiquait toutes les éclipses passées et à venir, les mois et les années lunaires, avec les épactes. Cette machine fort simple, peut se renfermer avec une pendule dans une boëte, et être mue par le mouvement même de la pendule. Quand elle est disposée pour une certaine année, il n'y faut toucher qu'au bout de l'an, ce qui consiste dans une opération si courte, qu'elle est presque insensible. On rapporte que la machine dont il s'agit, ainsi exécutée dans une pendule, et présentée à l'empereur de la Chine, avec d'autres curiosités d'Europe, les effaça toutes aux yeux de ce monarque, et lui donna une haute idée de la supériorité de nos savans, sur les mandarins astronomes, et les lettrés de son vaste empire.

En 1694, parurent quatre traités de La Hire, imprimés à la fin du second volume des Mémoires de l'Académie des Sciences, pour les années 1692 et 1693. Le premier de ces traités roule sur *les épicycloïdes;* le second est une explication *des principaux effets de la glace et du froid.* Le troisième rend compte *de la différence des sons, de la corde, et de la trompette marine.* Le quatrième traité, *sur les différens accidens de la vue*, est le plus curieux et le plus intéressant. C'est une optique entière ; non pas la géométrique, qui ne considère que des rayons réfléchis ou rompus, réunis ou écartés selon certaines lois, mais une optique physique, qui suppose une parfaite connaissance de la première. La Hire examine dans son traité, tout ce qui peut arriver à la vue, suivant les différentes constitutions de l'œil, ou les divers accidens qui peuvent lui survenir. Ces sortes de recherches particulières, quand elles sont bien approfondies, embrassent un si grand nombre de phénomènes, la plupart très-

compliqués, singuliers, même contraires en apparence les uns aux autres, qu'elles n'ont ni moins de difficultés, ni peut-être moins d'étendue que les recherches les plus générales.

La Hire donna en 1695, son *Traité de mécanique*. Il ne se contente pas de la théorie de cette science, qu'il fonde sur des démonstrations exactes, il s'attache surtout, à ce qu'il y a de principal dans la pratique des arts. Il s'élève même jusqu'au principe de cet art divin, qui a construit l'univers.

Depuis long-temps professeur de l'Académie d'Architecture, dont l'objet diffère un peu, de ceux qu'on lui a vu embrasser jusqu'ici, La Hire remplissait cette place comme si elle eût fait son unique occupation. Il était fort bon dessinateur, et habile peintre de paysage. Ce genre avait sa prédilection sur tout autre, et faisait aussi mieux ressortir son talent, peut-être parce qu'il a plus de rapport à la perspective, et à la disposition simple, naturelle, des objets, tels que les voit un physicien qui observe. Il est vrai que les autres genres de peinture, demandent une certaine chaleur d'imagination, un enthousiasme du beau, un goût enfin, que le physicien a rarement en partage.

Outre les ouvrages de La Hire, cités précédemment, et dont la multiplicité a bien pu rendre le dénombrement incomplet, on trouve de lui un grand nombre de morceaux importans, soit dans les journaux, soit dans l'Histoire et les Mémoires de l'Académie des Sciences. Ces derniers contiennent plus de cent cinquante articles, dont chacun en particulier est d'une utilité palpable, et qui sont tellement variés, que l'on a peine à concevoir qu'un seul homme, ait pu réunir des connaissances aussi diverses.

Non content de donner au public tant d'excellentes œuvres de sa composition, La Hire lui a aussi offert celles d'autrui, et n'a épargné ni son talent, ni ses peines, pour en assurer le succès. Picard, qui avait beaucoup travaillé sur le Nivellement, étant tombé malade, lui remit son manuscrit, avec prière de le faire imprimer, en y changeant et ajoutant ce qu'il jugerait convenable. Fidèle aux intentions de son ami, La Hire publia, en 1684, un livre intitulé : *Traité du Nivellement de M. Picard, mis au jour par M. de La Hire, avec des additions*. En 1686, il fit paraître le *Traité du mouvement des eaux et des autres corps fluides*, ouvrage posthume de Mariotte, dont une partie était au net quand mourut ce savant, et l'autre y fut mise sur ses papiers, et selon ses vues, qu'il avait communiqués à La Hire.

Tout ce que l'on vient de lire sur les travaux de ce dernier, a dû donner l'idée non-seulement d'une extrême assiduité dans le cabinet, mais encore d'une santé très-ferme et très-vigoureuse. Telle était aussi la sienne, depuis qu'il avait été guéri des infirmités de sa jeunesse, et de ses grandes palpitations de cœur, par une fièvre quarte; remède inespéré, qui, en lui donnant beaucoup de confiance dans la nature, avait diminué d'autant son estime pour la médecine. Ses journées étaient toutes absorbées par l'étude, et son sommeil très-souvent interrompu par les observations astronomiques. Il ne prenait d'autre exercice que d'aller à l'Observatoire, à l'Académie des Sciences, à celle d'Architecture, et au Collége Royal, dont il était aussi professeur. Quoique âgé de plus de soixante-dixhuit ans, il ne fut qu'un mois avant de mourir, assez infirme, pour ne pouvoir plus se rendre à l'Acadé-

mie. Quant à son esprit, il ne reçut pas la moindre altération de l'âge, ni même des approches de la mort, qui le frappa sans lui faire éprouver d'agonie, le 21 avril 1718.

La politesse extérieure n'était rien moins qu'étrangère à La Hire ; mais certain air de circonspection, de prudente timidité, qu'il avait rapporté de sa chère Italie, pouvait le faire paraître à des yeux français, un peu réservé et concentré en lui-même ; apparence que ses continuelles méditations fortifiaient sans doute encore. Bon, loyal, désintéressé, même généreux, il eut constamment pour règle de sa vie, une piété éclairée, sincère, exempte de petitesse et de singularité.

Il fut marié deux fois, et laissa huit enfans. Chacun de ses mariages a fourni un académicien.

TRAITÉ DE NIVELLEMENT.

PREMIÈRE PARTIE.

CHAPITRE PREMIER.

PRINCIPES DU NIVELLEMENT.

(1). L'ART de Niveler consiste, à déterminer de combien un point, est plus près ou plus éloigné qu'un autre, du centre de la terre; ou, ce qui est la même chose, de combien un point, pris sur la surface de la terre, est plus bas ou plus élevé qu'un autre point pris sur la même surface. D'où il suit qu'une ligne qui serait parfaitement de niveau, aurait tous ses points situés sur une circonférence de cercle, ayant pour centre celui de la terre.

De toutes les sciences physico-mathématiques, il n'en est aucune, dont l'usage soit plus universel et en même-temps plus journalier, que celui du Nivellement. Le poseur, le maçon, le paveur, le terrassier ne se dirigent que par le Niveau. C'est par le Nivellement, que l'architecte établit les bases des

édifices, et en dirige tous les travaux ; que l'agriculteur trace ses fossés d'arrosage, et distribue les eaux qui portent la fécondité dans ses propriétés. C'est encore par le Nivellement, que le fontainier conduit et dirige les eaux, destinées aux fontaines publiques et particulières, aux jets d'eau, et autres objets d'agrément.

Mais c'est surtout aux ingénieurs des ponts et chaussées que le Nivellement est nécessaire. La construction des canaux, soit d'arrosage, soit de navigation, celle des routes, celle des ponts, la navigation des rivières, le dessèchement des marais, et généralement tous les travaux dont ils sont chargés, en exigent impérieusement une connaissance approfondie; tant pour constater la possibilité des projets, que pour dresser des coupes et profils, essentiellement nécessaires à la rédaction des devis et à leur exécution. Les ingénieurs militaires enfin, ne doivent pas être étrangers à cet art, qui seul peut leur faire reconnaître la possibilité d'établir un des plus puissans moyens de défense.

(2.) La théorie du Nivellement est fondée sur les lois de l'hydrostatique, et sur la connaissance de la figure de la terre. Un grand nombre d'observations démontrent, que la surface générale de la terre, abstraction faite de ses inégalités, n'est point plane, comme elle le paraît, mais courbe, et à très-peu de chose près sphérique. On se convaincra facilement de la courbure de la terre, si l'on est en mer; car un navigateur ne commence jamais à découvrir une côte, que par les objets les plus élevés. Or, si la surface de la terre étoit plane, en même-temps qu'il découvre le haut d'une tour, par exemple, il devrait apercevoir tout le terrain adjacent. S'il n'en est pas ainsi, c'est que la surface de la

mer s'abaisse de plus en plus, à l'égard d'une ligne droite tirée du navire au sommet de la tour, et que la convexité des eaux s'interpose entre l'œil du navigateur et le rivage.

Ce serait, au reste, avoir une fausse idée de la figure de la terre, que de la croire absolument sphérique. Rigoureusement on doit considérer cette planète, comme un ellipsoïde de révolution aplati, peu différent d'une sphère.

En effet les opérations exécutées par plusieurs savans, dans les deux mondes, ne permettent plus de douter que les dimensions de la terre n'aient les valeurs suivantes, savoir :

		toi.		mèt.
Rayon de l'équateur....	=	3271864	=	6376984
Rayon du pôle........	=	3261265	=	6356324
Différence de ces rayons ou aplatissement.....	=	10600	=	20660
Rayon passant par le 50e. grade de latitude.....	=	3266611	=	6366745

Je supposerai néanmoins que la terre est sphérique : cette figure est plus convenable au but que je me propose, dans un ouvrage destiné surtout à diriger les personnes qui entreprennent des nivellemens, sans avoir, en mathématiques, d'autres connaissances que celle des élémens de géométrie et d'algèbre.

D'ailleurs si l'on voulait avoir égard en nivelant, à l'ellipticité du sphéroïde terrestre, on s'imposerait un travail long et pénible, sans en retirer un avantage réel.

Je regarderai donc la terre comme une sphère qui, ayant par hypothèse 40000000 m de circonférence, a par suite un rayon de 6366198 m.

Des points de Niveau, du Niveau apparent, et du Niveau vrai.

(3.) La base des opérations du Nivellement, est que *deux ou plusieurs points sont de niveau entre eux, lorsqu'ils appartiennent à une même surface semblable et concentrique, à celle des eaux stagnantes.*

Toute ligne courbe tracée sur la surface de la terre, supposée sphérique, est dite *ligne de niveau vrai* : tel est l'arc terrestre AD (*fig.* 1.)

Le *Niveau apparent* du point A, est fourni par une ligne quelconque AE située dans le plan qui ne touche qu'en ce point la surface de la terre. Ce plan tangent, perpendiculaire au rayon terrestre prolongé ou *vertical* CAZ du point de contact A, se nomme *plan horizontal*, et la ligne AE qu'il renferme, *horizontale*. Ainsi la ligne qui fournit le niveau apparent d'un point quelconque, est tangente en ce point, à celle qui donne son niveau vrai.

C'est à l'aide de lignes horizontales, auxquelles on rapporte les hauteurs ou les abaissemens des objets, que l'on parvient à connaître leurs différences de niveau vrai. On peut obtenir la direction de ces lignes horizontales, au moyen d'un instrument appelé *Niveau;* on en distingue de trois espèces différentes, savoir : les *Niveaux à perpendicule*, les *Niveaux d'eau*, et les *Niveaux à bulle d'air.*

(4.) La pratique du Nivellement exige, que l'on connaisse la différence qui existe, entre le niveau vrai et le niveau apparent; c'est-à-dire, qu'ayant mené la tangente AE, il faut trouver la partie DE, de la sécante CE, hauteur du niveau apparent AE, au-dessus du niveau vrai AD. Pour calculer cette distance, on a $DE = FE - FD = FE - 2CD$.

Or on sait que la tangente est moyenne proportionnelle, entre la sécante entière, et sa partie extérieure; ce qui donne

$DE : AE :: AE : FE = \frac{\overline{AE}^2}{DE}$, donc en substituant dans la valeur précédente de DE, on a

$DE = \frac{\overline{AE}^2}{DE} - 2\,CD$, ou $\overline{DE}^2 = \overline{AE}^2 - 2\,CD \cdot DE$.

Si l'on voulait calculer rigoureusement DE, il faudrait résoudre une équation du second degré; mais la hauteur DE est toujours très-petite, par rapport au diamètre DF de la terre; on pourra donc, sans erreur sensible, négliger le terme $\overline{DE}^2$, et réduire la formule à celle-ci $o = \overline{AE}^2 - 2\,CD.DE$, d'où

$$DE = \frac{\overline{AE}^2}{2CD};$$

En faisant pour abréger $DE = h$, $AE = a$ et $CD = R$, on a $h = \frac{a^2}{2R}$.

Au reste, l'équation du second degré

$$\overline{DE}^2 + 2\ CD\ .\ DE = \overline{AE}^2,$$

donne, étant résolue,

$$= -CD \pm \sqrt{\overline{CD}^2 + \overline{AE}^2},\ \text{ou}\ h = -R \pm \sqrt{R^2 + a^2}$$

Application des deux formules.

(5.) Pour calculer la hauteur du niveau apparent au-dessus du niveau vrai, pour une distance de 450 mètres, par exemple; dans la formule $h = \frac{a^2}{2R}$, on

fera AE $= a = 450^m$, CD $=$ R $= 6{,}366{,}198^m$, et on aura $h = \frac{(450^m)^2}{12732396^m}$; en employant les logarithmes on a

Log. $(450^m)^2 = 5{,}3064250$.
Compl. log. 2 R $= 2{,}8950899$.

Somme ou log. $h = 8{,}2015149$; donc $h = 0{,}^m 015904$

La même hauteur étant calculée d'après la formule rigoureuse, $h = - R \pm \sqrt{R^2 + a^2}$, on trouve, en prenant le signe supérieur, le seul qui convienne à la question, $h = - 6366198^m + \sqrt{(6366198^m)^2 + (450^m)^2}$, ou $h = 0{,}^m 015905$; d'où l'on voit que ces deux valeurs ne diffèrent entr'elles que d'un millionième; et que par conséquent, on doit préférer la première formule, comme plus simple et plus expéditive : dans l'un et l'autre cas, on prendra $h = 0{,}^m 016$.

(6.) Connaissant la hauteur du niveau apparent pour une distance a, on calculera facilement les hauteurs pour toutes les autres distances; car, si à la distance a on a $h = \frac{a^2}{2R}$, à la distance a' on aura $h' = \frac{a'^2}{2R}$, ce qui donne la proportion

$$a^2 : a'^2 :: h : h';$$

pour avoir la hauteur à la distance de $1000{,}^m$ on substituera dans cette proportion les valeurs numériques, ce qui donnera

$$(450)^2 : (1000)^2 :: 0{,}^m 016 : h' = 0{,}^m 0786.$$

Il sera très-commode de comparer à cette dernière hauteur, toutes celles que l'on voudra calculer, la division s'exécutera facilement par le dé-

placement de la virgule. Ainsi, si l'on voulait connaître la hauteur du niveau apparent à la distance de 1500^{m}, on ferait la proportion

$$(1000)^2 : (1500)^2 :: 0,^{m}0786 : h' = 0,^{m}17685.$$

(7.) De ce qui est dit ci-dessus, il résulte que *les haussemens du niveau apparent, sont entre eux, dans le rapport des quarrés des distances;* et que, connaissant la hauteur à 100^{m}, laquelle est $0,^{m}000706$, on trouvera les hauteurs pour les distances de 2, 3, 4, etc. mètres, en multipliant celle-là par les quarrés de ces nombres, c'est-à-dire par 4, 9, 16, etc.; et en général par le quarré du nombre de mètres de la distance proposée; puis on divisera le produit par le quarré de 100, qui est 10000, en avançant la virgule de quatre places vers la gauche; ou plus simplement, on multipliera le quarré du nombre de mètres de la distance donnée, par le nombre constant $0,^{m}00000007854$.

De l'effet de la réfraction terrestre, sur la différence de niveau.

(8.) On ne peut niveler avec exactitude, sans avoir égard à la réfraction. On appelle *point de visée*, ou *point de mire*, l'un des points visibles d'un corps, vers lequel on dirige un rayon visuel. A une distance un peu grande, le point de visée paraît dans un lieu autre que celui qu'il occupe en effet; cette déviation de l'image de l'objet, qui est produite par la réfraction, se manifeste dans le sens vertical, et fait voir cet objet plus élevé qu'il ne l'est réellement. La réfraction a lieu, parce que le rayon visuel se trouve naturellement infléchi par l'air de l'atmosphère, dont les couches les plus bas-

ses, ont plus de densité que les couches supérieures.

(9.) M. Puissant, dans son *Traité de Géodésie, art.* 103, a déterminé l'excédant de la hauteur du niveau apparent sur le niveau vrai, eu égard à l'abaissement causé par la réfraction. Je rapporterai à peu près, ce qu'il dit à ce sujet.

Si B (*fig.* 2.) est un objet terrestre observé du point A, il sera vu en B′, dans la direction AB′ de la tangente à la courbe BCA, décrite par le rayon lumineux; et l'angle B′AB sera celui de la réfraction, qu'il est nécessaire de connaître, afin de pouvoir déterminer la hauteur exacte du point de mire, au-dessus du niveau vrai; mais cette réfraction est si variable près de la surface de la terre, si inconstante dans un même lieu, que l'on ne saurait établir une règle bien précise à cet égard. On peut la déterminer par l'observation; mais comme cela exige le concours de deux observateurs, il vaut mieux, pour être dispensé d'en tenir compte, placer l'instrument à égale distance des deux points, dont on cherche la différence de niveau. Par ce moyen l'on sera même dispensé d'avoir égard à la différence du niveau apparent au niveau réel. Si par exemple BB′ (*fig.* 3.) est la ligne de terre, et, OO′ une ligne de niveau apparent, donné par un instrument placé en A, à égale distance de O et de O′; il est clair que les rayons visuels A*o*, A*o*′, lancés vers O et O′, seront infléchis de la même manière, ensorte que les points O, O′, lieux apparens des points de mire *o*, *o*′, seront nécessairement à égale distance du centre C de la terre, ou seront de niveau; puisque l'effet de la réfraction en O, ainsi que la hauteur du niveau vrai à ce point, sont respecti-

vement les mêmes qu'en O′. Il suit de là, et à cause de $oO = o'O'$, que la différence de niveau des deux points B, B′, qui est en général représentée par $O'B' - OB = o'B' - oB$. Ensorte que si $o'B' = oB$, on aura $O''B'' = OB$ et les deux points B′, B, seront de niveau ; si, au contraire $o'B'$ est plus grand ou plus petit que oB, le premier point B′, sera plus bas ou plus haut que le second B. Cela est évident.

Dans le cas, cependant, où il est impossible de procéder de cette manière, on calcule l'effet que la réfraction produit à une distance donnée, en prenant les huit centièmes de l'angle formé par les verticales des extrémités de cette distance. C'est la valeur de la réfraction moyenne dans notre climat, ainsi que M. Puissant l'a énoncé dans son ouvrage cité.

Si l'on désigne donc par r l'angle de réfraction, et par C l'angle des verticales dont il s'agit, ou l'*amplitude* de l'arc qui mesure leur distance, on aura

$$r = (0,08)\ C.$$

Cette formule, donne r en partie de grade; mais il sera plus commode de l'avoir en mètres. Pour cet effet l'on remarquera, que l'angle OAB formé par une corde et une tangente, est égal à la moitié de l'angle OCA, c'est-à-dire à $\frac{C}{2}$. Or, les angles OAB, OAo, étant très-petits, on a à très-peu de chose près,

$$BO : oO :: \text{angle OAB} : \text{angle OA}o;$$

désignant BO par h, et oO par E, cette proportion revient évidemment à celle-ci $h : E :: \frac{C}{2} : r$, ou bien $h : E :: \frac{C}{2} : (0,\ 08)\ C$. Donc $E = (0,\ 16)\,h$; c'est-à-dire que l'abaissement oO, causé par la ré-

fraction, est égal à la hauteur du niveau apparent, multipliée par le nombre constant o, 16. La vraie hauteur du point de mire *o*, au-dessus du niveau AB, est donc B*o*.

(10.) On a trouvé ci-dessus, que pour une distance de 430 m, et sans avoir égard à la réfraction, la hauteur *h* du niveau apparent était de o, m 015904; que pour une distance de 1000, m $h =$ o, m 0786; et que pour une distance de 1500, m $h =$ o, m 17685. D'après la dernière formule, les abaissemens causés par la réfraction seront, pour la première distance o, m 002545, pour la seconde o, m 012576 et pour la troisième o, m 028296, nombres que l'on a trouvés en multipliant par o, 16 chacune des valeurs de *h*.

D'après ces formules, et le principe exposé au (nº 7), M. Busson-Descars a calculé la table suivante; que j'ai extraite de l'*Essai sur le Nivellement*, qu'il a publié en 1805.

(11) *TABLE des hauteurs du Niveau apparent au-dessus du Niveau vrai, et des abaissemens causés par la réfraction; depuis la distance de 20 mètres, jusqu'à celle de 10,000.*

DISTANCE en MÈTRES.	ÉLÉVATION DU NIVEAU APPARENT au-dessus du NIVEAU VRAI.	ABAISSEMENT CAUSÉ par la RÉFRACTION.	EXCÈS de l'élévation du Niveau apparent au-dessus du Niveau vrai, sur l'abaissement causé par la réfraction.
mt.	mt.	mt.	mt.
0	0,0000	0,0000	0,0000
20	0,0000	0,0000	0,0000
40	0,0001	0,0000	0,0001
60	0,0003	0,0000	0,0002
80	0,0005	0,0001	0,0004
100	0,0008	0,0001	0,0007
120	0,0011	0,0002	0,0009
140	0,0015	0,0002	0,0013
160	0,0020	0,0003	0,0017
180	0,0025	0,0004	0,0021
200	0,0031	0,0005	0,0026
220	0,0038	0,0006	0,0032
240	0,0045	0,0007	0,0038
260	0,0053	0,0008	0,0045
280	0,0062	0,0010	0,0052
300	0,0071	0,0011	0,0059
320	0,0080	0,0013	0,0067
340	0,0091	0,0014	0,0076
360	0,0102	0,0016	0,0085
380	0,0113	0,0018	0,0095
400	0,0126	0,0020	0,0106
420	0,0138	0,0022	0,0116

DISTANCE en MÈTRES.	ÉLÉVATION DU NIVEAU APPARENT au-dessus du NIVEAU VRAI.	ABAISSEMENT CAUSÉ par la RÉFRACTION.	EXCÈS de l'élévation du Niveau apparent au-dessus du Niveau vrai, sur l'abaissement causé par la réfraction.
mt.	mt.	mt.	mt.
440	0,0152	0,0024	0,0128
460	0,0166	0,0027	0,0140
480	0,0181	0,0029	0,0152
500	0,0196	0,0031	0,0165
520	0,0212	0,0034	0,0178
540	0,0229	0,0037	0,0192
560	0,0246	0,0039	0,0207
580	0,0264	0,0042	0,0222
600	0,0283	0,0045	0,0237
620	0,0302	0,0048	0,0254
640	0,0322	0,0051	0,0270
660	0,0342	0,0055	0,0287
680	0,0363	0,0058	0,0305
700	0,0385	0,0062	0,0323
720	0,0407	0,0065	0,0342
740	0,0430	0,0069	0,0361
760	0,0454	0,0073	0,0381
780	0,0478	0,0076	0,0401
800	0,0503	0,0080	0,0422
820	0,0528	0,0084	0,0444
840	0,0554	0,0089	0,0465
860	0,0581	0,0093	0,0488
880	0,0608	0,0097	0,0511
900	0,0636	0,0102	0,0534
920	0,0665	0,0106	0,0558
940	0,0694	0,0111	0,0583
960	0,0724	0,0116	0,0608
980	0,0754	0,0121	0,0634
1000	0,0785	0,0126	0,0660

DISTANCE en MÈTRES.	ÉLÉVATION DU NIVEAU APPARENT au-dessus du NIVEAU VRAI.	ABAISSEMENT CAUSÉ par la RÉFRACTION.	EXCÈS de l'élévation du Niveau apparent au-dessus du Niveau vrai, sur l'abaissement causé par la réfraction.
mt.	mt.	mt.	mt.
1020	0,0817	0,0131	0,0686
1040	0,0849	0,0136	0,0714
1060	0,0882	0,0141	0,0741
1080	0,0916	0,0147	0,0769
1100	0,0950	0,0152	0,0798
1120	0,0985	0,0158	0,0828
1140	0,1021	0,0163	0,0857
1160	0,1057	0,0169	0,0888
1180	0,1094	0,0175	0,0919
1200	0,1131	0,0181	0,0950
1220	0,1169	0,0187	0,0982
1240	0,1208	0,0193	0,1014
1260	0,1247	0,0199	0,1047
1280	0,1287	0,0206	0,1081
1300	0,1327	0,0212	0,1115
1320	0,1368	0,0219	0,1150
1340	0,1410	0,0226	0,1185
1360	0,1453	0,0232	0,1220
1380	0,1496	0,0239	0,1256
1400	0,1539	0,0246	0,1293
1420	0,1584	0,0253	0,1330
1440	0,1629	0,0261	0,1368
1460	0,1674	0,0268	0,1406
1480	0,1720	0,0275	0,1445
1500	0,1767	0,0283	0,1484
1520	0,1815	0,0290	0,1524
1540	0,1863	0,0298	0,1565
1560	0,1911	0,0306	0,1605
1580	0,1961	0,0314	0,1647

DISTANCE en MÈTRES.	ÉLÉVATION DU NIVEAU APPARENT au-dessus du NIVEAU VRAI.	ABAISSEMENT CAUSÉ par la RÉFRACTION.	EXCÈS de l'élévation du Niveau apparent au-dessus du Niveau vrai, sur l'abaissement causé par la réfraction.
mt.	mt.	mt.	mt.
1600	0.2011	0,0322	0,1689
1620	0,2061	0,0330	0,1731
1640	0,2112	0,0338	0,1774
1660	0,2164	0,0346	0,1818
1680	0,2217	0,0355	0,1862
1700	0,2270	0,0363	0,1907
1720	0,2323	0,0372	0,1952
1740	0,2378	0,0380	0,1997
1760	0,2433	0,0389	0,2044
1780	0,2488	0,0398	0,2090
1800	0,2545	0,0407	0.2137
1820	0,2602	0,0416	0,2185
1840	0,2659	0,0425	0,2234
1860	0,2717	0,0435	0,2282
1880	0,2776	0,0444	0,2332
1900	0,2835	0,0454	0,2382
1920	0,2895	0,0463	0,2432
1940	0,2956	0,0473	0,2483
1960	0,3017	0,0483	0,2534
1980	0,3079	0,0493	0,2586
2000	0,3142	0,0503	0,2639
2100	0,3464	0,0554	0,2909
2200	0,3801	0,0608	0,3193
2300	0,4155	0,0665	0,3490
2400	0,4524	0,0724	0,3800
2500	0,4909	0,0785	0,4123
2600	0,5309	0,0849	0,4460
2700	0,5726	0,0916	0,4809
2800	0,6157	0,0985	0,5172

DISTANCE en MÈTRES.	ÉLÉVATION DU NIVEAU APPARENT au-dessus du NIVEAU VRAI.	ABAISSEMENT CAUSÉ par la RÉFRACTION.	EXCÈS de l'élévation du Niveau apparent au-dessus du Niveau vrai, sur l'abaissement causé par la réfraction.
mt.	mt.	mt.	mt.
2900	0,6605	0,1057	0,5548
3000	0,7069	0,1131	0,5938
3100	0,7548	0,1208	0,6340
3200	0,8042	0,1287	0,6756
3300	0,8553	0,1368	0,7184
3400	0,9079	0,1453	0,7626
3500	0,9621	0,1539	0,8082
3600	1,0179	0,1629	0,8550
3700	1,0752	0,1720	0,9032
3800	1,1341	0,1815	0,9527
3900	1,1946	0,1911	1,0035
4000	1,2566	0.2011	1,0556
4100	1,3202	0,2112	1,1090
4200	1,3854	0,2217	1,1638
4300	1,4522	0,2323	1,2198
4400	1,5205	0.2433	1,2772
4500	1,5904	0,2545	1,3360
4600	1,6619	0,2659	1,3960
4700	1,7349	0,2776	1,4573
4800	1,8096	0,2895	1,5200
4900	1,8857	0,3017	1.5840
5000	1,9635	0,3142	1,6493
5100	2.0428	0,3268	1,7160
5200	2,1237	0,3398	1,7839
5300	2,2062	0.3530	1.8532
5400	2.2902	0,3664	1.9238
5500	2,3758	0.3801	1,9957
5600	2.4630	0,3941	2,0689
5700	2,5518	0,4083	2,1435

DISTANCE en MÈTRES.	ÉLÉVATION DU NIVEAU APPARENT au-dessus du NIVEAU VRAI.	ABAISSEMENT CAUSÉ par la RÉFRACTION.	EXCÈS de l'élévation du Niveau apparent au-dessus du Niveau vrai, sur l'abaissement causé par la réfraction.
mt.	mt.	mt.	mt.
5800	2,6421	0,4227	2,2193
5900	2,7340	0,4374	2,2965
6000	2,8274	0,4524	2,3750
6100	2,9225	0,4676	2,4549
6200	3,0191	0,4830	2,5360
6300	3,1172	0,4988	2,6185
6400	3,2170	0,5147	2,7023
6500	3,3183	0,5309	2,7874
6600	3,4212	0,5474	2,8738
6700	3,5256	0,5641	2,9615
6800	3,6317	0,5811	3,0506
6900	3,7393	0,5983	3,1410
7000	3,8484	0,6157	3,2327
7100	3,9592	0,6335	3,3257
7200	4,0715	0,6514	3,4201
7300	4,1854	0,6697	3,5157
7400	4,3008	0,6881	3,6127
7500	4,4179	0,7069	3,7110
7600	4,5365	0,7258	3,8106
7700	4,6566	0,7451	3,9116
7800	4,7784	0,7645	4,0138
7900	4,9017	0,7843	4,1174
8000	5,0265	0,8042	4,2223
8100	5,1530	0,8245	4,3285
8200	5,2810	0,8450	4,4360
3300	5,4106	0,8657	4,5449
8400	5,5418	0,8867	4,6551
8500	5,6745	0,9079	4,7666
8600	5,8088	0,9294	4,8794

DISTANCE en MÈTRES.	ÉLÉVATION DU NIVEAU APPARENT au-dessus du NIVEAU VRAI.	ABAISSEMENT CAUSÉ par la RÉFRACTION.	EXCÈS de l'élévation du Niveau apparent au-dessus du Niveau vrai, sur l'abaissement causé par la réfraction.
mt.	mt.	mt.	mt.
8700	5,9447	0,9511	4,9935
8800	6,0821	0,9731	5,1090
8900	6,2211	0,9954	5,2258
9000	6,3617	1,0179	5,3438
9100	6,5039	1,0406	5,4123
9200	6,6476	1,0636	5,5840
9300	6,7929	1,0869	5,7060
9400	6,9398	1,1104	5,8294
9500	7,0882	1,1341	5,9541
9600	7,2382	1,1581	6,0801
9700	7,3898	1,1824	6,2074
9800	7,5430	1,2069	6,3361
9900	7,6977	1,2316	6,4661
10000	7,8540	1,2566	6,5973

Nota. Cette table est extraite d'une autre, dont les nombres des deuxième, troisième et quatrième colonnes, ont été calculés jusqu'à dix décimales.

(12.) L'usage de cette table est facile. En effet on y trouve, que pour une distance de 7900 ^{m}, par exemple, l'élévation du niveau apparent est de 4 ^{m}, 9017; que l'abaissement causé par la réfraction pour la même distance, est de 0, ^{m} 7843; et dans la colonne des différences on a 4, ^{m} 1174 pour l'excédant cherché.

(13.) Lorsqu'on voudra avoir l'élévation du ni-

veau apparent, pour des distances qui ne se trouvent pas dans la table, on les calculera comme il a été enseigné (7); ainsi, s'il s'agissait de connaître l'élévation du niveau apparent, pour une distance de 6789^{m}, on multiplierait le quarré de 6789, ou 46090521, par le nombre constant $0,^{m}00000007854$, ce qui donnerait, en s'arrêtant au quatrième chiffre décimal, $3,^{m}6199$ pour l'élévation cherchée.

Pour avoir maintenant l'abaissement causé par la réfraction, je multiplie $3,^{m}6199$ par 0, 16, et le produit $0,^{m}5792$ sera l'abaissement demandé.

Si l'on soustrait ce dernier nombre $0,^{m}5792$ de $3,^{m}6199$, le reste $3,^{m}0407$ sera l'excédant de l'élévation du niveau apparent, sur l'abaissement causé par la réfraction.

(14) On trouvera de la même manière, pour une distance au-delà des limites de la table, à 25456^{m} par exemple, que l'élévation du niveau apparent est de $43,^{m}2114$; que l'abaissement causé par la réfraction est de $6,^{m}9138$; et enfin, que l'élévation du niveau apparent, excède l'abaissement causé par la réfraction de $36,^{m}2976$.

En employant les logarithmes, on arrivera plus simplement au même résultat : pour cet effet, on ajoutera au double du logarithme du nombre de mètres contenus dans la distance dont on veut avoir le niveau apparent, le logarithme du nombre constant $0,^{m}00000007854$. Le logarithme de ce dernier nombre est 2, 895 0 909; il a été calculé en convertissant la fraction décimale en fraction ordinaire, elle devient $\frac{7854^{m}}{100000000000}$; j'ai ajouté 10 à la caractéristique du logarithme de 7854^{m}, ce qui a donné 13,8950909; ôtant 11, 0000000 logarithme de 100000000000, il restera 2,8950909, à la somme :

on tiendra compte de la dixaine dont on a augmenté le logarithme de 7854^{m}, en la diminuant de la caractéristique du logarithme de cette somme.

EXEMPLE.

Trouver l'élévation du niveau apparent à la distance de 23456 ^{m}, dont le logarithme est 4,3702540.

Le double de ce logarithme est	8,7405080
Ajoutant le log. du nombre constant..............	2,8950909
Somme....	11,6355989

ôtant 10 à la caractéristique il reste 1,6355989, qui correspond à 43, ^{m} 2114, ce qui est l'élévation du niveau apparent, à la distance donnée.

En multipliant ensuite 43, ^{m} 2114 par 0, 16, et soustrayant le produit, de ce nombre de mètres, on trouvera comme ci-dessus 36, ^{m} 2976, pour l'élévation du niveau apparent, eu égard à l'abaissement causé par la réfraction.

On se conduira de même, dans les différentes circonstances, où l'on aura besoin de calculer les hauteurs des niveaux apparens, au-dessus du vrai.

CHAPITRE II.

Description et usage des divers instrumens employés dans le Nivellement.

(15.) On a inventé jusqu'à présent, plusieurs instrumens que l'on appèle *Niveaux;* la justesse des uns dépend, soit de la direction, supposée passer par le centre de la terre, que la gravité donne à un fil délié, par l'action qu'elle exerce sur un corps

pesant, attaché à son extrémité inférieure; soit de quelque corps pesant suspendu d'une autre manière, et qui produisant le même effet que le fil à plomb, sert à diriger le niveau; la justesse des autres dépend de quelque liqueur, dont la superficie représente une partie de l'horizon apparent ou sensible.

Avant de décrire les instrumens anciens perfectionnés, et ceux qui ont été inventés depuis peu, je vais parler succinctement des divers instrumens qui portent le nom de *Niveau*, en suivant l'ordre des époques de leur invention.

Quoique la plupart de ces instrumens soient hors d'usage, je pense que mes lecteurs me sauront gré de les leur avoir fait connaître. Le vrai zélateur de la science, ne veut rester étranger à rien de ce qui la concerne, ou s'y rapporte. Il aime particulièrement à suivre ses progrès; et s'il se sent la noble ambition de les accroître, il y parviendra surtout, en méditant sur son état actuel, rapproché de ce qu'elle fut dans son origine. La comparaison des premiers moyens qu'elle employa, avec ceux qui l'ont perfectionnée, nécessite une opération de l'esprit, satisfaisante en elle-même, et susceptible d'amener de nouvelles découvertes, ou du moins des combinaisons dont la science peut faire son profit.

Niveau d'eau des anciens, ou Chorobate.

(16.) Les grandes conduites d'eau, que les anciens ont faites, auraient pu nous persuader qu'ils étaient fort savans dans l'art de niveler, si les instrumens dont ils se sont servis n'étaient venus jusqu'à nous, dans les ouvrages de Vitruve. Leur grand niveau qu'ils appelaient *Chorobate*, était composé d'un canal en bois CD (*fig.* 4), long de vingt pieds,

rempli d'eau à quelques pouces de hauteur, soutenu à ses extrémités par des pièces de bois, et au côté duquel pendaient de petits fils à plomb, qui indiquaient lorsqu'il était à peu près de niveau. La surface des eaux en repos étant toujours horizontale, lorsque l'on avait mis de l'eau dans le Chorobate, il était facile de vérifier si un terrain était de niveau, en mesurant les distances des divers points de ce terrain, à la superficie de l'eau contenue dans l'instrument.

Si l'on voulait, par exemple, niveler ainsi le terrain représenté (*fig.* 4), on placerait le Chorobate au-dessus des points A et B, et l'on mesurerait la distance du point A, à la surface CD de l'eau; je la suppose égale à 1,^{m}04 : on mesurerait pareillement la distance du point B à la même surface; je la suppose égale à 0,^{m}95; prenant la différence entre ces deux nombres, on trouvera 0,^{m}09; ce qui apprend que le point A, est plus bas que le point B, de 0,^{m}09; on connaît par là, ce qu'il faut faire pour redresser le terrain. Mais un pareil niveau a l'inconvénient d'être difficile à transporter, à cause de ses dimensions, et de son poids.

Sa longueur étant, comme je l'ai dit, de 20 pieds, les coups de niveau des anciens se bornaient à cette étendue; ils transportaient l'instrument de 20 pieds en 20 pieds, à chaque opération qu'exigeait la conduite de leurs ouvrages.

Les niveaux qui ont succédé au Chorobate, sont ceux de Thévenot, de Picard, de Huyghens, de Rœmer, et de La Hire. Je décrirai ci-après chacun de ces instrumens, et leur usage. Je commencerai par ceux qu'on emploie particulièrement dans les arts.

Niveau simple à bulle d'air, de Thévenot.

(17.) Ce niveau (*fig.* 5), est composé d'un étui métallique, de cuivre, ou de fer-blanc, qui a dans son milieu une ouverture, au moyen de laquelle on peut apercevoir un tube de verre, qu'il renferme et recouvre en partie; et duquel on a bouché hermétiquement les extrémités, qu'on a fait chauffer pour cela, au feu d'une lampe d'émailleur. La longueur et la grosseur du tube sont indéterminées. Cet instrument donne le niveau par le moyen d'une bulle d'air, renfermée dans le tube de verre, et qui vient se placer à une certaine marque pratiquée au milieu de l'étui, laquelle sert à observer la position et le mouvement de cette bulle, dont la forme est plus ou moins oblongue, suivant la température de l'atmosphère. Lorsque la bulle d'air est parfaitement au milieu, on reconnoît que le plan sur lequel pose la machine est exactement de *niveau;* lorsqu'il ne l'est point, la bulle d'air s'élève vers l'une des extrémités. La liqueur dont le tube de verre est rempli, est ordinairement de l'huile de tartre, ou de l'eau seconde, parce que ces deux liqueurs ne sont sujettes ni à se geler, comme l'eau naturelle, ni à la raréfaction et à la condensation, comme l'esprit-de-vin.

On attribue l'invention de cet instrument à M. Thévenot; sa justesse dépend de son extrême *sensibilité*, c'est-à-dire, de la promptitude avec laquelle la bulle d'air, quitte le milieu du tube, pour se porter à son extrémité la plus haute, lorsqu'on donne au tube la plus petite inclinaison.

Niveau à bulle d'air et à pinnules.

(18.) Ce niveau (*fig.* 6) n'est autre chose que le

niveau à bulle d'air décrit ci-dessus, auquel ont été ajoutées des pinnules, semblables à celles que l'on voit aux graphomètres. Ces pinnules sont percées chacune d'une ouverture quarrée, où sont deux filets de cuivre qui se croisent à angle droit, et au milieu desquels est pratiqué un petit trou, pour faire apercevoir le point que l'on veut viser.

Cet instrument n'est pas sans inconvénient, parce que le trou, si petit qu'il soit, découvre toujours un espace trop grand, pour que l'on puisse déterminer avec précision le point de niveau.

Niveau à bulle d'air et à lunette.

(19.) Cet instrument (*fig.* 7) est semblable au précédent, avec cette seule différence, qu'au lieu de simples pinnules, il est garni d'une lunette, qui le rend propre à déterminer exactement un point de niveau, à une grande distance.

On regarde M. Huyghens comme l'inventeur de ce niveau, ainsi que d'un autre à perpendicule, dont je parlerai ci-après. Le niveau à bulle d'air et à lunette, a l'avantage de pouvoir vérifier les opérations; car si, après que l'instrument a été retourné, le cheveu qui se trouve dans la lunette coupe toujours le même point qu'auparavant, c'est une preuve certaine de la justesse de l'opération.

Niveaux à perpendicule.

(20.) La loi de la gravitation, en vertu de laquelle tous les corps tendent à tomber, suivant une ligne perpendiculaire à l'horizon, est celle qui sert de base aux niveaux à perpendicule.

Un fil, à l'extrémité duquel un poids P (*fig.* 8) est suspendu, se nomme perpendicule.

(21.) Le plus simple des niveaux à perpendicule, et en même temps le plus en usage dans la maçonnerie, la charpente, et la menuiserie, est formé par une équerre ABC (*fig.* 9), en bois de chêne, de noyer, ou de sapin bien sec, qui a ordinairement 4 décimètres de longueur de B en F, et autant de F en D, et de F en E. Elle est garnie en fer à sa base AH et IC.

La ligne BF, tracée sur le niveau, doit être telle, qu'étant prolongée, elle fasse deux angles droits avec la droite AC, qui passe par les pieds de l'équerre. Si l'on attache un perpendicule au point G, et que l'on place l'équerre sur une règle, disposée de manière que le perpendicule GP coïncide avec la droite GF, perpendiculaire à AC; il est évident que le perpendicule GP étant, par sa nature, perpendiculaire à l'horizon, et par la construction, et la position de l'instrument, perpendiculaire à la droite AC, cette droite se confondra avec l'horizon; par conséquent la règle sur laquelle sera posée cette équerre, et dont la direction est la même que celle de la ligne AC, sera aussi horizontale. On a coutume de nommer la ligne GF, *ligne de foi*.

(22) Il peut arriver que la chaleur, le froid, ou l'humidité, venant à faire travailler le bois dont cet instrument est composé, la droite GF (*fig.* 10) ne soit plus perpendiculaire à la ligne AC, et qu'elle forme avec cette dernière un angle aigu GFC par exemple. En supposant alors que la perpendiculaire abaissée du point G, sur la droite AC, dût prendre la direction GK; si l'on tire l'horizontale AN, la ligne AC, qui indique la direction de la règle sur laquelle porte l'équerre ABC, fera, avec l'horizontale AN, un angle CAN, égal à l'angle FGK que fait le perpendicule avec la perpendiculaire GK. En effet, les deux triangles AFL, GFK rectangles en L, et en K, ont les

angles AFL, GFK égaux, comme étant opposés par le sommet; d'où il suit que le troisième angle du premier, est égal au troisième angle du second.

Lorsque la droite GF (*fig.* 9) est perpendiculaire à AC, et que la règle, ou le plan sur lequel pose l'équerre ABC, est placé de manière que le perpendicule GP coïncide avec cette droite, on est assuré que la règle MN sur laquelle pose l'équerre, est horizontale, comme il a déjà été dit ci-dessus. Si donc l'on retourne l'équerre bout pour bout, il est certain que la règle MN restant toujours à la même place, et étant horizontale par la supposition, le perpendicule GP coïncidera toujours avec la perpendiculaire GF.

Lorsque l'angle GFI (*fig.* 10) est aigu, il est évident que si l'on retourne l'équerre bout pour bout, comme la règle MN reste à la même place, et fait par conséquent toujours le même angle CAN avec l'horizon, il faudra que le perpendicule, qui doit faire avec la perpendiculaire GK un angle égal à CAN, tombe sur une ligne qui fasse avec GK un angle égal à l'angle CAN; soit GO cette ligne, on aura OGK = CAN = KGF, donc le perpendicule ne coïncidera pas avec la même ligne, après que l'on aura retourné l'instrument.

Si l'on prend le point K, à égale distance des points F et O, c'est par ce point K que devra passer la ligne de foi du niveau, perpendiculaire à la ligne AC : tel est le moyen de vérifier, et de rectifier le niveau à perpendicule, que nous venons de décrire.

(23.) Ainsi donc lorsqu'on voudra vérifier le niveau à perpendicule ABC, on le placera sur un plan incliné, d'une quantité quelconque, par rapport à l'horizon.

On examinera sur quel point bat le fil à plomb;

D 4

s'il bat au point marqué sur l'instrument, et qu'après avoir retourné celui-ci bout pour bout, le fil à plomb batte encore sur le même point, ce sera une preuve que l'instrument est juste; et que, de plus, le plan sur lequel on l'a placé, est incliné d'une quantité égale à zéro par rapport à l'horizon, c'est-à-dire, qu'il est horizontal.

Si le fil à plomb ne battait pas sur le point indiqué par l'instrument, on remarquerait à quelle distance il passe, du point indiqué, on retournerait ensuite l'instrument bout pour bout; et si le fil-à-plomb tombe à la même distance du point indiqué, qu'avant le retournement, c'est une preuve que l'instrument est encore juste, mais que le plan sur lequel on l'a posé n'est pas horizontal.

Si le fil à plomb tombe à une plus grande, ou à une plus petite distance du point indiqué, qu'avant le retournement, c'est une preuve que l'instrument est faux. Pour le corriger, on marquera un point au milieu des deux points de coïncidence.

(24.) Ce niveau est connu sous le nom de *niveau de maçon* ou de *charpentier;* en effet, les personnes de ces deux professions s'en servent continuellement; les premiers pour placer de niveau les pierres de taille, et les seconds, pour placer horizontalement les poutres, entraits et autres pièces de bois. Le poids P, suspendu à l'extrémité du fil, pèse à peu près 16 décagrammes, et est ordinairement en plomb; c'est pourquoi le perpendicule P, est appelé vulgairement fil à plomb.

(25.) Lorsque cet instrument est de moindre dimension que celui représenté (*fig.* 9), on le fait quelquefois d'un seul morceau de bois; comme on le voit (*fig.* 11)

(26.) On peut, si l'on veut, adapter à l'équerre

ABC des pinnules, telles que G et T (*fig.* 6), et une douille E, munie d'un genou. On la placera ensuite sur un trépied ordinaire, et l'on s'en servira pour donner une direction horizontale au rayon visuel, à l'aide duquel on pourra niveler, d'un seul coup, deux points d'autant plus éloignés du niveleur, que celui-ci aura une meilleure vue.

Le niveau représenté (*fig.* 12), est aussi attribué aux charpentiers, mais plus particulièrement aux paveurs; il se compose d'une longue règle, au milieu de laquelle en est ajustée à angles droits, une autre plus petite, vers le haut de laquelle est attaché un fil à plomb, qui, lorsqu'il bat sur une ligne de foi, perpendiculaire à la base, indique que cette base est horizontale.

Ce niveau et celui des maçons sont très-communs, et considérés comme les meilleurs pour les bâtimens; mais leurs opérations ne peuvent s'étendre qu'à de très-petites distances.

(27.) Le niveau des canonniers (*fig.* 13), est celui dont on se sert pour pointer les canons et les mortiers; il est composé d'une plaque triangulaire, haute d'environ 11 décimètres, au bas de laquelle est un arc de cercle divisé en dégrés jusqu'à 45; ce nombre de degrés étant suffisant pour la plus grande hauteur à laquelle on élève les canons et les mortiers, pour donner aux coups la plus grande portée. Au centre de ce segment de cercle, est attachée une pièce ou espèce d'alidade de cuivre, que l'on peut fixer ou laisser se mouvoir à volonté, au moyen d'une vis; l'extrémité de cette pièce de cuivre est disposée de manière à recevoir un petit plomb ou index, qui marque les différens degrés d'élévation de la pièce d'artillerie; cet instrument a un pied de cuivre qui se place sur le canon ou mortier, et qui fait prendre

à tout l'instrument une situation verticale quand la pièce est horizontale.

L'usage de ce niveau est facile à saisir; il consiste à placer le pied de l'instrument sur la pièce à laquelle on veut donner un certain degré d'inclinaison, en sorte que l'index tombe sur le nombre de degrés proposés.

Niveau de Picard.

(28.) On a représenté cet instrument (*fig.* 14), après avoir ôté le dessus de sa boîte en croix, pour apercevoir ce qui se trouve dans l'intérieur.

EFFG est un tuyau quarré, qui contient tout ce qui doit constituer une lunette; on doit employer pour sa construction une matière solide, comme le fer, ou le laiton, de sorte qu'elle ne puisse pas facilement se rompre.

EF est un petit châssis qui porte le verre objectif.

GH est un autre châssis qui porte deux filets de soie très-fins, lesquels se croisent à angles droits, au foyer de l'objectif.

Le verre objectif et les filets, ainsi rattachés ensemble par le tuyau, servent de pinnules au niveau.

Le petit tuyau D contient le verre oculaire, que l'on peut avancer ou reculer, suivant la portée de la vue de l'observateur; sans que pour cela, il arrive aucun changement dans la position du verre objectif et des filets.

La lunette DE, est solidement attachée à angles droits, avec le tuyau AK, de manière que l'on ne puisse remuer l'un sans l'autre.

L et M, sont deux arcs-boutans courbés; ils servent a consolider l'assemblage de la lunette, avec le tuyau AK; et à incliner le niveau d'un côté ou d'autre, lorsqu'il est sur son pied.

AC est un cheveu suspendu au point A, par

une boucle que l'on fait à son extrémité; cette boucle est posée sur une aiguille appuyée par sa pointe, contre une pièce de laiton, qui s'élève du fond de la boîte ou tuyau; afin que le cheveu ait la liberté de se mouvoir.

A l'extrémité inférieure du cheveu, est attaché un plomb C, que l'on fait d'une grosseur suffisante, pour que son poids tienne le cheveu bien tendu, mais sans pouvoir le rompre.

B est une petite plaque d'argent, enchâssée à fleur sur une pièce de laiton, qui est autant élevée sur le fond de la boîte, que celle qui porte l'aiguille au point A. Au milieu de cette plaque, il y a un point qui sert à déterminer le niveau apparent, comme on le dira dans la suite, en traitant de la vérification de l'instrument.

Du point A, où le cheveu est suspendu, pris pour centre, on décrit un arc de cercle qui passe par le milieu de la plaque B; sur chaque côté de cet arc, on marque de petites divisions égales, qui, déterminant, autant qu'il est possible, des minutes de degré, servent à montrer de combien de minutes, un objet est plus ou moins élevé que le niveau apparent; on sent que cette opération a lieu seulement, pour le nombre de minutes qui auront pu être marquées sur la pièce de laiton.

Le verre objectif doit être arrêté sur le châssis EF, lequel doit être immobile dans la boîte, ou tuyau de la lunette.

Le châssis GH qui porte les filets, doit aussi être attaché fixement, au corps de la même boîte.

Quelquefois, le châssis qui porte les filets, est fait de manière qu'il glisse, mais sans être trop libre, le long d'une coulisse pratiquée dans un autre châssis. A la partie inférieure de celui-ci, est atta-

ché un ressort R, (*fig.* 15), qui pousse en haut le premier châssis, porteur des filets, lequel peut être repoussé vers le bas, par le moyen d'une vis V, qui passe au travers de la boite de la lunette, dans la partie supérieure où est l'écrou, et qui force le ressort R, par lequel est soutenu le châssis mobile.

On pose le niveau sur un chevalet à trois pieds, tel que celui dont se servent les peintres pour soutenir leurs tableaux. L'instrument s'appuie seulement aux chevilles du chevalet, par les arcs-boutans L et M; en sorte qu'il peut se mouvoir sur ces chevilles, et s'incliner selon le besoin.

La queue N (*fig.* 14), est une verge de fer, assez forte pour ne pas plier; elle est attachée sur la boîte AC, du perpendicule, de façon à pouvoir seulement monter et descendre; et, en tombant jusqu'à terre, elle sert à arrêter le niveau dans l'inclinaison où l'on veut qu'il soit.

On peut ajouter à chaque pied du chevalet, un faux pied en fer Z, en forme de verrou, qui coule dans des crampons, le long du pied de bois, et qui est arrêté à la longueur que l'on veut, par le moyen d'une vis; ceci est utile pour alonger les pieds du chevalet, dans les lieux raboteux et inégaux.

La grandeur de cet instrument est indéterminée; mais on doit remarquer que, plus il sera grand, plus justes seront les observations. Ceux dont Picard s'est servi, avaient ordinairement une lunette de 96 centimètres de longueur, et le perpendicule en avait 130.

Quoique le tuyau AC du perpendicule, ait communication avec celui de la lunette, et que son filet ou cheveu passe au travers, cela ne dérange rien, parce que la finesse du filet le rend imperceptible.

Le niveau de Picard étant un des niveaux à per-

pendicule, dont on peut se servir avec plus d'avantage, parce qu'il assure une grande justesse aux opérations, je crois devoir m'étendre sur les moyens de le vérifier, et de le rectifier. Le plus simple de ces moyens est, sans contredit, le renversement du niveau ; mais les deux suivans me paraissent les meilleurs de tous ceux que Picard lui-même a donnés dans son mémoire, inséré parmi ceux de l'Académie des Sciences, pour l'année 1666.

Premier moyen de vérification du niveau de Picard.

(29) Aux extrémités A et B (*fig.* 17) d'une distance connue, on marque sur le terrain deux points, qui, pour la facilité de l'opération, doivent n'être pas très-éloignés du vrai niveau, et dont la distance AB, soit de 600 à 800 mètres.

Cela fait, on place l'instrument sur le point A, et l'on dirige la lunette vers le point B ; on fait marquer exactement le point auquel vise la croix des filets qui sont au foyer, et on mesure la hauteur de cette croix au-dessus du point A ; le filet du perpendicule donnant sur le centre de la petite plaque d'argent, qui se trouve au bas de l'instrument.

On fait de même une autre station au point B, c'est-à-dire, que l'on y dirige la lunette vers A, où l'on marque aussi exactement le point de mire de la croix des filets, dont on mesure la hauteur au-dessus du point B, où l'on observe, laquelle se nomme *hauteur de l'œil.* Alors il peut arriver trois cas :

(30) 1°. *Si les deux hauteurs des points de visée ajoutées ensemble, surpassent les deux hauteurs de la croix des filets ou de l'œil, aussi ajoutées ensem-*

ble, du double du haussement du niveau apparent qui convient à la distance des stations, l'instrument sera juste, et marquera le niveau apparent; dans ce cas, le filet du perpendicule qui bat sur le centre de la petite plaque d'argent, fait un angle droit avec le principal rayon de l'objet qui est caché par la croix, ou par l'intersection des filets de soie.

Supposons, par exemple, que la distance entre les lieux A et B de l'observation soit de 600 mètres; on trouve dans la table (11), que l'élévation du niveau apparent au-dessus du niveau vrai, est de 0,^{m} 0283 pour cette distance; ainsi si la somme des hauteurs des points de visée, surpasse de 0,^{m} 0566 celle des hauteurs de l'œil, ou de la croix des filets qui sont près de l'oculaire, ce sera une preuve de la justesse de l'instrument.

2°. *Si la somme des hauteurs des points de visée, surpasse la somme des hauteurs de l'œil, ou de la croix des filets, de plus du double de l'élévation du niveau apparent au-dessus du vrai, l'instrument haussera la mire, ou la ligne de visée, de la moitié de ce qu'il y a de trop;* et l'angle que fera le filet du perpendicule, avec le principal rayon mené à la croix des filets du foyer, sera obtus.

Ainsi, si l'excès de la somme des hauteurs des points de visée, sur celle des hauteurs de l'œil, est de 0,^{m} 17, au lieu de 0,^{m}0566, double de ce dont le niveau apparent doit être élevé au-dessus du vrai, à la distance de 600^{m}; il y aura 0,^{m} 1134 de trop d'élévation; d'où l'on conclut que l'instrument hausse la mire de la moitié de 0,^{m} 1134, ou de 0,^{m} 0567 à la distance de 600 mètres.

3°. *Enfin, si la somme des hauteurs des points de visée, est moindre que celle des hauteurs de l'œil ou de la croix des filets, à laquelle on a ajouté*

le double de l'élévation du niveau apparent au-dessus du vrai; la moitié de ce qu'elle aura de moins que l'autre, sera la quantité dont l'instrument baisse la mire, pour la distance proposée.

Ainsi si la somme des hauteurs des points de visée, était moindre de o,^{m} 16 que celle des hauteurs de l'œil augmentée de o,^{m} o566, double de l'élévation du niveau apparent au-dessus du vrai, à la distance de 600 mètres; l'instrument donnerait trop bas de o,^{m}o8.

(31.) Voici les démonstrations des trois règles énoncées.

Supposons que les deux points A et B (*fig.* 18) que l'on a marqués sur le terrain, soient de niveau, c'est-à-dire, également éloignés l'un et l'autre du centre de la terre :

1°. L'instrument étant en B, l'œil en D, et le filet du perpendicule battant sur le centre de la petite plaque d'argent; si le point de visée E, de la ligne du Nivellement DE, principal rayon venant de l'objet E à la croix des filets du foyer de la lunette, est élevé au-dessus du point A, de la hauteur AE plus grande que BD, hauteur de l'œil ou de la croix des filets, de la quantité HE; et que cette hauteur HE, soit exactement l'élévation du niveau apparent au-dessus du vrai à la distance AB, il est évident que la ligne du Nivellement ED, fera avec le filet du perpendicule, posé au point D, un angle droit EDB.

Donc si l'on transporte l'instrument dans le même état, au point A, supposé de niveau avec le point B, si l'œil est en *d*, la ligne de Nivellement *de* donnera le point de visée en *e*; en sorte que la ligne *Be* sera plus grande que la ligne *Ad*, de la

quantité $eh = EH$, car l'angle edA est droit. Donc, dans ce cas la somme des deux hauteurs des points de visée AE et Be, est plus grande que la somme des deux hauteurs de l'œil BD et Ad, de la valeur des deux hauteurs EH et eh, qui sont égales entre elles, et dont chacune exprime l'élévation du niveau apparent au-dessus du vrai pour la distance AB, ce qui démontre la première règle.

2°. Si l'œil étant en D, la ligne du Nivellement DF, donne la ligne AF plus grande que BD, ou que AH, supposée égale à BD, de la grandeur HF plus grande que HE, élévation du niveau apparent au-dessus du vrai pour la distance AB; il est évident que le rayon DF, fera avec le perpendicule DB, un angle obtus FDB. Ensorte que l'instrument haussera la mire, et donnera un point de visée F, qui sera élevé au-dessus du point de visée E du niveau apparent, de la quantité EF.

On trouvera la même chose dans l'opération réciproque, l'instrument étant en A, et l'œil en d; car le point de visée sera au point f, donné par l'angle Adf, obtus et égal à l'angle FDB : la ligne fe, élévation du point de mire f, au-dessus du point de mire du niveau apparent e, sera donc égale à EF.

D'où il suit que la somme des lignes AF et Bf, hauteurs des points de visée F et f, sera plus grande que la somme des hauteurs de l'œil, ou de la croix des filets BD et Ad; ou que celle de leurs égales AH et Bh; augmentée de EH et eh, c'est-à-dire, du double de l'élévation du niveau apparent au-dessus du vrai pour la distance AB; et que la quantité dont la somme des grandeurs AF et Bf est plus grande, sera égale à celle des deux grandeurs EF et ef, qui est le double de ce que l'ins-

trument, en élevant la mire, donne de trop au-dessus du niveau apparent, à la même distance AB, ainsi que l'énonce la seconde règle.

3°. L'œil étant en D, si la ligne du Nivellement donne le point de mire en G, et que la ligne AG soit plus petite que AH, égale BD, à laquelle on a ajouté HE, pour l'élévation du niveau apparent au-dessus du vrai, à la distance AB; il est évident, que l'instrument baissera la mire de GE.

La même chose aura lieu dans le Nivellement réciproque exécuté en A, suivant la ligne *dg*. Ainsi dans le cas actuel, les hauteurs AG et B*g* des points de visée, jointes ensemble, sont plus petites que les hauteurs de l'œil BD et A*d*, ou que leurs égales AH et B*h*, prises ensemble et augmentées des deux grandeurs HE et *he*, qui sont chacune l'élévation du niveau apparent au-dessus du vrai, pour la distance AB; et l'on voit que la quantité dont la somme des deux hauteurs AG et B*g*, des points de visée, est plus petite que celle des deux hauteurs de l'œil BD et A*d*, augmentée du double du haussement du niveau apparent au-dessus du vrai, est la somme des deux grandeurs GE et *ge*, égales entre elles; c'est-à-dire, le double de ce dont l'instrument baisse la mire, au-dessous du niveau apparent, à la distance AB : ce qui démontre la troisième et dernière règle.

On a supposé dans ce qui est dit ci-dessus, que les points A, et B, se trouvaient dans le vrai niveau, ou également éloignés du centre de la terre; voici la preuve que les règles énoncées, s'étendent également au cas où cette condition ne serait pas remplie. Si R était plus bas que B, de la quantité RA, par exemple, cette quantité RA, entrerait une fois dans la somme des hauteurs de visée, et autant dans

celle des hauteurs de l'œil, qui auraient lieu lors des Nivellemens reciproques, donc en effectuant la différence de ces sommes, RA s'y détruirait mutuellement; et alors il ne resterait en définitif, que les mêmes grandeurs que nous avons trouvées dans les trois cas ci-dessus; ce qui est facile à comprendre, sans une plus grande explication.

Moyen de corriger ce Niveau, et de lui faire marquer avec exactitude le niveau apparent.

(32.) Supposons que le niveau étant posé à l'une des stations A, ou B (*fig.* 17), ne donne pas le point de visée D, dans le niveau apparent, il sera facile de le corriger de la manière suivante :

On connaîtra par les nivellemens réciproques, (30. 2°. et 3°.) de combien l'instrument hausse ou baisse la mire; ce qui mettra à même de trouver le point H, où il devrait donner, pour fournir le niveau apparent. Ensuite ayant haussé ou baissé l'instrument, autant qu'il faudra pour apercevoir le point déterminé H, dans la croisée des filets, on examinera avec grand soin, sur laquelle des divisions de la petite plaque d'argent, donnera alors le cheveu, ou filet du perpendicule, afin de pouvoir l'y replacer, toutes les fois que l'on voudra déterminer une ligne de niveau apparent.

Mais si l'on veut que le centre de la petite plaque d'argent, serve de repère à ce niveau, on fera battre dessus le filet du perpendicule; puis il faudra hausser ou baisser le faux châssis où sont fixés les filets, au moyen de la vis qui pénètre la boîte, et qui repousse le ressort en bas, ainsi qu'il a été dit dans la description de l'instrument; de manière que la croix des filets du foyer de la lunette, donne sur

le point H, que l'on a déterminé pour être dans le niveau apparent de l'œil de l'observateur placé en A.

On doit remarquer que si, par le mouvement que l'on donnera au niveau, pour ramener le filet du perpendicule sur le milieu de la plaque d'argent, on élevait, ou baissait, d'une quantité quelconque, les filets du foyer, il faudrait aussi élever ou baisser d'autant la marque H, à laquelle on doit viser; car la hauteur de cette marque n'a pas été faite pour la nouvelle position des filets, mais pour celle où ils étaient auparavant.

Second moyen de vérifier le Niveau de Picard.

(53.) On peut encore vérifier et rectifier le même niveau, de la manière suivante :

Ayant choisi un lieu très-uni, et d'environ 600 mètres de longueur, tel que CB (*fig.* 17), on posera l'instrument au milieu A de cette distance, de manière que les parties AB et AC soient égales entre elles, et de 300 mètres chacune, puisque la distance CB est de 600 mètres. Ensuite, après avoir planté des piquets aux points B et C, on dirigera successivement le niveau vers chacun d'eux, et l'on marquera sur les piquets, les points de visée D et E; si donc l'instrument demeure à la même hauteur dans chaque opération, alors les points D et E seront dans le vrai niveau, quelqu'angle que la ligne de visée, fasse avec celle du perpendicule.

Maintenant, si l'on transporte le niveau à l'une des extrémités de la distance choisie, au point C, par exemple, et si on le dirige vers l'autre extrémité, on pourra mesurer de combien la croix des filets

de la lunette est plus haute, ou plus basse, que le point E ; on pourra donc marquer sur le piquet, à cette autre extrémité B, un point K ou G, qui soit autant élevé au-dessus, ou abaissé au-dessous du point D, que la croix des filets est plus haut ou plus bas que le point E, on aura ainsi le vrai niveau correspondant à la croix des filets de l'instrument, dans sa position actuelle. Or, comme le niveau apparent doit être plus élevé que le vrai, et que pour la distance de 600 mètres on trouve (*table n°.* 11.) 0,^{m}028 d'élévation, on fera donc une nouvelle marque à 0,^{m}028 au-dessus de celle que l'on a faite la dernière ; cette nouvelle marque sera dans le niveau apparent de l'œil de l'observateur, et sera par conséquent le point où doit être pointé le niveau, pour être corrigé et rectifié.

Pour faire une application de la méthode exposée, nous supposerons que la hauteur CE soit de 1,^{m}57, que la hauteur BD soit de 1,^{m}64, et que le niveau étant en C, la croix des filets de la lunette soit au point F, à 1,^{m}46 au-dessus du point C. Ce point F sera par conséquent de 0,^{m}11 au-dessous du point E. Si donc on prend le point G à 0,^{m}11 au-dessous du point D, il est évident que les points F et G seront dans le vrai niveau. Or, puisqu'à la distance de 600 mètres, le niveau apparent est élevé au-dessus du vrai de 0,^{m}028, on marquera le point H, 0,^{m}028 plus haut que le point G ; et ce point H sera le point de visée où doit donner l'instrument pour marquer le niveau apparent, et pour être rectifié. On changera donc la croix des filets de la lunette, jusqu'à ce qu'elle pointe à la marque désignée par H, le perpendicule demeurant toujours au centre de la petite plaque d'argent : ou bien l'on remarquera exactement la divi-

sion où le cheveu du perpendicule est arrêté, lorsque la lunette de l'instrument aura été dirigée sur H, afin de le remettre dans la même position, toutes les fois que l'on voudra déterminer des points, qui soient dans le niveau apparent de l'œil de l'observateur, au lieu de station.

Si les distances AC, et AB, étaient chacune de plus ou de moins de 300 mètres, il faudrait avoir égard à l'élévation du niveau apparent qui conviendrait à de telles distances, pour marquer le point H, où doit pointer la ligne de visée. Cette manière de rectifier le niveau est la plus simple, et la plus commode pour la pratique.

(34.) On remarquera qu'il est important, non-seulement dans les opérations que l'on fait pour la correction du niveau, mais aussi dans tous les Nivellemens, que le cheveu du perpendicule ne se tienne pas collé sur la lame de laiton, qui soutient la petite plaque d'argent, et qu'il n'en soit pas aussi trop éloigné; mais que l'effleurant librement, il batte légèrement sur ce point. Cette condition remplie, et la longueur du perpendicule étant d'environ 1,^{m}3; on pourra répondre de moins de 0,^{m}054 d'erreur, sur une distance de 2,000 mètres; laquelle demande 0,^{m}314 de correction, (*table n°.* 11.), pour l'élévation du niveau apparent au-dessus du vrai.

(35.) M. Lefèvre, ancien capitaine du génie, au service de Prusse, publia en 1753, un ouvrage intitulé : *Nouveau traité du Nivellement*, et y donna la description du Niveau de Picard, dont il s'était servi pour niveler divers terrains. Ayant éprouvé des difficultés à le vérifier par le renversement, il en composa un décrit, *page* 25 de l'ouvrage cité,

et dont il fit usage pour le Nivellement des rivières de Havel et de Sprée.

Ce niveau, semblable par la forme à celui de Picard, en diffère par ses proportions. 1°. M. Lefèvre donne à la boîte en croix de l'instrument 1,^{m}6 de hauteur et 1,^{m}28 de largeur; cette croix est renforcée de quatre arcs-boutans courbes, et renversés, qui la rendent plus solide.

2°. La lunette, dans l'instrument de Picard, a 0,^{m}97 de longueur, et dans celui de M. Lefèvre, elle en a 1,^{m}46. Le cheveu du perpendicule est long de 1,^{m}30 dans le premier, et de 1,^{m}46 dans le second.

3°. Le chevalet sur lequel est appliquée la boîte en croix du Niveau de Picard, est à 3 pieds, comme celui d'un peintre; celui de M. Lefèvre en a quatre, et soutient la croix à 1,^{m}46 de hauteur. Le corps entier de la lunette, et les châssis, se démontent; on met le tout dans une boîte de longueur convenable, ce qui prévient les accidens du transport. Le pied se plie aussi, comme celui d'une table. Enfin cet instrument a l'avantage de pouvoir être démonté et remonté, dans toutes ses parties, avec une extrême facilité.

On trouve encore (*page* 33) du même ouvrage, la description d'un autre Niveau ayant les mêmes propriétés, et fondé sur les mêmes principes que le précédent, dont il ne diffère que par le pied sur lequel pose la croix, lequel a la forme d'une lanterne.

Niveau de Huyghens.

(36.) La principale pièce de cet instrument est une lunette d'approche AB (*fig.* 19), de 32 à 64 centimètres, et au delà, si l'on veut qu'elle pro-

duise plus d'effet. Elle est composée de deux, ou mieux de quatre verres convexes, dont deux montreraient les objets renversés, mais que les deux autres redressent. Son tuyau de forme cylindrique, est en laiton, ou de tout autre métal; il passe dans une virole C qui l'embrasse par le milieu, et avec laquelle il est soudé.

A cette virole sont adaptées, l'une en haut, l'autre en bas, deux branches plattes pareilles D, et E, chacune d'environ le quart de la longueur de la lunette, avec laquelle elles forment ainsi une espèce de croix. Au bout de ces branches, sont attachés des filets doubles, passés dans de petits anneaux, et serrés entre des pinces. L'une des dents de ces pinces est attachée fixement au bout de sa branche, l'autre doit avoir la facilité de s'ouvrir. On suspend la croix au crochet F, par l'anneau supérieur, et l'on attache à l'anneau inférieur, un corps pesant, dont le poids soit à peu près égal à celui de la croix. Ce corps pesant est enfermé dans la boîte GG, d'où il ne sort que par son crochet. Ce qui reste d'espace dans cette boîte, est rempli de quelque huile qui ne se fige pas, comme celle de noix, ou de lin, afin que les balancemens du poids et de la lunette, s'arrêtent promptement.

Il y a dans la lunette, un fil de soie, tendu horizontalement au foyer du verre objectif, soit qu'il y ait un, ou trois oculaires. Ce fil peut se hausser et se baisser à volonté, au moyen d'une vis que l'on tourne par le trou H, percé dans le tuyau de la lunette.

Une virole mobile en I, peut être arrêtée à l'endroit que l'on veut du tuyau de la lunette qu'elle embrasse; son poids doit être le centième environ de celui de la croix, tel enfin que par un déplacement

convenable de cette virole, on puisse ramener le tuyau de la lunette, à peu près parallèle à l'horizon.

Une croix de bois plate, sert à suspendre la machine, en plaçant en haut le crochet F; et à l'un de ses bras la fourchette H, qui empêche que la lunette n'ait un trop grand mouvement latéral; ne lui laissant qu'une demi-ligne de jeu. A la partie inférieure de cette croix est attachée la boîte qui contient le poids S, et l'huile dans laquelle il plonge.

Enfin pour garantir le Niveau du vent, on applique contre la croix plate de bois, une autre croix creuse LM, (*fig.* 20) aussi de bois, qu'on y attache avec plusieurs crochets V, V, de manière que le tout forme une boîte.

Rectification et usage de ce Niveau.

(57.) Pour ajuster et rectifier ce Niveau;

1°. On le suspend par l'une des deux branches, dans la situation représentée par la figure 19, mais sans y attacher le plomb par en bas; on vise quelque objet éloigné et l'on remarque l'endroit où donne le fil horizontal, que l'on doit voir aussi distinctement que l'objet; on ajoute ensuite le plomb en l'accrochant à l'anneau d'en bas : et si alors le fil horizontal répond encore à l'endroit remarqué, on est assuré que le centre de gravité de la croix, est précisément dans la ligne droite qui joint les deux points de suspension de la croix et du plomb : c'est-à-dire, dans la ligne où les deux filets sont attachés aux branches. Cette première opération préparatoire est indispensable.

Si le fil horizontal ne répondait point à l'endroit

remarqué, sur l'objet visé, on se servirait de la virole I, que l'on rapprocherait ou que l'on éloignerait du verre objectif, pour baisser ou hausser la lunette, et obtenir ainsi la disposition cherchée.

2°. Ayant réduit la lunette à viser au même point, sans le plomb et avec le plomb, on la retourne, en la suspendant par la branche inférieure, et on attache le plomb au crochet de l'autre branche, qui alors se trouve en bas : le plomb ainsi attaché arrête assez vite les mouvemens de l'instrument.

Alors si le fil qui est dans la lunette donne le même point de mire, qu'il donnait auparavant, l'on sera certain que ce point est exactement dans le plan horizontal de l'axe de la lunette. Si le fil ne vise pas au même point, on l'y réduira en le haussant ou le baissant, au moyen de la vis qui sert à cet usage ; il faudra le hausser si le point est plus haut, et le baisser s'il est au-dessous ; on aura soin de renverser la lunette à chaque correction.

Cela fait, l'instrument sera parfaitement rectifié, et il est remarquable qu'il n'est pas nécessaire, pour que cette circonstance existe, que le verre objectif, et les oculaires, soient bien centrés, ou que leurs axes principaux soient rangés en ligne droite. On pourra se servir ensuite de l'instrument avec sûreté, si toutefois il ne lui arrive aucun dérangement. Alors le fil horizontal de la lunette, indiquera, quelque objet que l'on vise, des points de cet objet situés dans le plan horizontal de l'axe de la lunette.

S'il survenait quelque dérangement dans le Niveau, on pourrait le reconnaître avant de s'en servir; il suffirait pour cela, de viser un objet quelconque, le plomb étant d'abord attaché à la branche d'en bas, de le viser ensuite sans ce plomb, et

d'exécuter une semblable manœuvre, après avoir renversé la lunette. Car pour que le Niveau n'ait éprouvé aucun dérangement, les quatre points de visée devront être identiques; il résulte de là, qu'on ne peut être trompé par ce Niveau, auquel la faculté de pouvoir être vérifié sur place, sans calcul, ni mesures, donne un grand avantage sur tous les autres.

(38.) Le pied qui doit supporter cette machine, est une plaque ronde, de fer ou de laiton, un peu concave, à laquelle sont attachés, en charnière, trois bâtons P, P, P, d'environ un mètre de hauteur.

La boîte de l'instrument posant sur cette plaque, en trois points, peut se tourner du côté que l'on veut; et la concavité sphérique de la plaque, donne moyen de la dresser avec facilité, de manière que le plomb ait un mouvement libre dans sa boîte; ce dont on s'assurera, en regardant par l'ouverture M, faite au couvercle de bois.

Le crochet F, auquel le Niveau est suspendu, peut être simplement attaché à la croix de bois; ici il est représenté attaché à une virole, qui se hausse ou se baisse au moyen d'une vis, tenant à l'anneau qui soutient la machine. L'avantage qu'on en retire, c'est qu'en la transportant, on peut baisser la croix, la faire descendre sur la fourchette H, et sur le petit bras courbé R; et cela sans ouvrir l'étui de bois, qui la renferme.

Pour empêcher que l'huile, contenue dans la boîte G, ne se répande, lorsqu'on transporte le Niveau en voyage, on peut boucher le trou de cette boîte, par le poids même qu'elle renferme. Il faudra dans ce cas, que ce poids soit bien uni par-dessus, et

on l'attirera contre le couvercle de la boîte, au moyen d'une virole à écrou S.

(39.) M. Lefèvre, parlant du Niveau de Huyghens, dans son ouvrage cité (35), observe qu'il est difficile de suspendre la croix, et le poids qu'elle soutient, avec assez de justesse pour que la ligne de direction du centre de gravité, détermine toujours un même angle avec l'axe de la lunette ; qui est censé donner chaque fois, la ligne de Niveau, par le point de mire. La supposition que cet angle est déterminé naturellement par la pesanteur de la croix, et du poids qui y est attaché, paraît à M. Lefèvre sinon gratuite, du moins, dénuée de preuves suffisantes. Il objecte de plus, contre le Niveau de Huyghens, la difficulté de manœuvrer cet instrument, de le transporter, surtout, à cause de l'huile, qui ne peut être contenue exactement dans la boîte. Néanmoins il le regarde comme un des meilleurs Niveaux connus, à l'époque de la publication de son ouvrage.

Niveau de Roemer.

(40.) Dans ce Niveau, la figure de la boîte ABC (*fig.* 22), est en forme d'équerre. La partie AB sert de tuyau à la lunette ; elle est ouverte vers l'extrémité B, où l'on place le verre objectif, et à l'extrémité A, est soudé et attaché un faux canon, qui porte l'oculaire.

Au dedans du tuyau, il y a un châssis P, qui porte, en croix, deux fils de ver à soie, ou de soie très-fine.

Aux deux côtés de la boîte, et en dedans, sont attachées deux pièces D, D, qui servent de supports aux tourillons ou pivots d'une tige de fer,

au bas de laquelle est solidement attaché le corps qui sert de plomb; lequel peut osciller dans le renflement C de la boîte. Ces tourillons sont faits en forme de prismes triangulaires, tranchans par dessous, pour diminuer leur frottement sur les pièces D, D.

Une tringle horizontale L, fait corps avec la tige qui supporte le plomb; elle est terminée en G, auprès du châssis P, par une fourchette verticale qui sert à tendre horizontalement un filet de soie.

Enfin au point R, de la tige de fer, à laquelle le plomb est attaché, se trouve un trou taraudé, qui répond à deux autres trous faits dans la boîte, un peu au-dessus; en sorte que des vis pointues, introduites par les trous de la boîte, puissent en élevant le plomb, élever de même les pivots sur lesquels il oscille au-dessus de leurs appuis; et les empêcher ainsi, de s'user et de s'émousser, pendant le transport de l'instrument.

Rectification et usage de ce Niveau.

(41.) On se sert rarement d'un pied, pour soutenir ce Niveau; on l'appuie seulement au coin d'une muraille, ou contre un arbre, en le soutenant, de manière que le plomb ait la liberté de tourner sur ses pivots. On élève doucement le tuyau de la lunette, jusqu'à ce que l'on voie le filet horizontal de la fourchette, se placer dans la direction de celui du châssis P; alors le point de l'objet visé, caché par les filets, donne le point de mire.

On peut rectifier ce Niveau, par le moyen du Nivellement réciproque, ou par celui de deux Nivellemens, faits d'une même station, à deux points également éloignés de côté et d'autre; comme il a été

enseigné (32, 33). En effet, ayant déterminé par ces opérations, un point de Niveau apparent, à l'égard d'un autre point, on se placera à celui-ci, et on courbera doucement la tringle de la fourchette, jusqu'à ce que le filet qu'elle porte, recouvre exactement celui de la lunette du Niveau, dirigée vers le point déterminé. Néanmoins s'il fallait trop courber la tringle de la fourchette, on ferait mieux de changer de place le filet qu'elle porte.

Toute la bonté de ce Niveau, dépend de la suspension des pivots D, D; on ne donne à la lunette à deux verres, que 0,^{m}325 à 0,^{m}406 de longueur, et 0,^{m}217 à 0,^{m}244 à la verge rigide DR, qui suspend le plomb.

Cet instrument est fort bon, pour niveler des points qui ne sont pas très-éloignés; une fois rectifié, il n'est sujet dans le transport à aucune variation.

Niveau de La Hire.

(42.) Ce Niveau tire toute sa justesse de la superficie de l'eau, supposée également éloignée du centre de la terre. Il consiste à faire nager sur ce fluide, une lunette d'approche, qui sert de pinnules à l'instrument.

ARC et BDT (*fig.* 23), sont deux vases carrés, de bois ou de fer-blanc, larges d'environ 11 centimètres, et hauts d'environ 0,^{m}217.

CD est un tuyau qui sert de communication à ces deux vases, afin que l'eau puisse passer aisément de l'un à l'autre. Il doit avoir au moins 0,^{m}013 de diamètre, et environ 0,^{m}751 de longueur.

Un autre tuyau AB, est attaché vers le haut des deux vases, pour servir de tuyau à la lunette.

Le vase ARC est percé en R, vis-à-vis du tuyau

AB; on adapte à cet endroit un canon S, qui porte le faux canon de l'oculaire, afin que l'on puisse éloigner ou rapprocher ce verre, selon le besoin.

L'autre vase TBD est aussi percé dans sa partie T, vis-à-vis le même tuyau AB, pour former l'ouverture de la lunette.

Au milieu du tuyau AB, est attaché un petit fil à plomb P, qui, en battant sur une marque faite au tuyau CD, indique quand les deux vases sont à peu près de niveau; alors on y introduit une quantité d'eau convenable.

On met sur les deux vases, un léger couvercle, qui puisse être ôté facilement. Ce qui donne plus d'effet à la lunette, en empêchant la lumière, de donner sur le verre objectif, et sur les filets.

Les pinnules sont portées par deux boîtes, qui doivent être placées dans les vases mentionnés; elles sont faites en laiton très-mince, pour qu'elles surnagent facilement, et ne s'enfoncent qu'autant qu'il est nécessaire, à l'aide d'un poids mis dans leur intérieur.

Le corps de ces boîtes est un cylindre FG (*fig.* 21), d'environ 0,^{m}068 de hauteur, et d'autant de largeur dans son diamètre. Ce cylindre doit être hermétiquement fermé d'un couvercle au-dessus; et au-dessous, d'un cône renversé GE, saillant de 0,^{m}027 vers la pointe E.

Le tuyau FH, est soudé au-dessus de la boîte; il a 0,^{m}054 de hauteur, et 0,^{m}027 de largeur. La partie supérieure de ce tuyau, est ouverte de deux côtés, jusqu'à la hauteur de 0,^{m}027 : dans chaque partie qui reste entre les ouvertures, on attache une petite coulisse, qui sert à porter le châssis de la pinnule, lequel ne doit entrer que jusqu'à une

certaine profondeur, où il faut avoir soin de l'arrêter.

LM est un fil de laiton, presqu'aussi long que la largeur des vases; il passe dans le milieu du tuyau F H, un peu au-dessous de la pinnule. Ce fil sert à maintenir les boîtes, de façon que nageant sur l'eau, elles présentent toujours leurs ouvertures, à celle du tuyau de la lunette. Pour cela il glisse entre deux petites lames de fer-blanc ou de laiton, attachées aux deux côtés de chaque vase, aussi longues et aussi près l'une de l'autre, qu'il est nécessaire, pour empêcher que le fil de laiton ne vacille trop d'un côté ou de l'autre.

Au couvercle F des boîtes, et au dedans du tuyau FH, est percé un trou, pour le passage d'une balle de plomb, ou d'un peu de mercure, qui empêche les boîtes flottantes, de pencher d'aucun côté, et les maintient en équilibre. La balle, ou le mercure, doit être d'un poids suffisant, pour les faire enfoncer dans l'eau, jusqu'à l'endroit du tuyau marqué IK, à 0,^{m}013 environ, au-dessus du couvercle. On doit ensuite boucher le petit trou par une petite platine de laiton, fort mince, que l'on attache avec de la cire molle.

Les deux boîtes, doivent être égales dans toutes leurs parties; et lorsqu'elles sont chargées des pinnules, et de la balle ou du mercure, elles doivent peser également.

Chacune de ces boîtes porte un petit châssis, qu'on fait entrer dans les coulisses qui sont aux deux côtés, de la partie supérieure, du tuyau FH.

L'un de ces châssis porte des filets de soie croisés, l'autre porte le verre objectif. L'eau versée dans les vases, doit être suffisante, pour élever les boîtes, de manière que les filets de soie, et l'ob-

jectif, se trouvent dans la direction du tuyau de la lunette AB.

On donne à cet instrument, tel pied qu'on juge le plus convenable. On le pose sur un petit banc, pour l'élever un peu au-dessus de la terre, ou sur un chevalet; ou on l'attache à une planche; ou enfin, l'on adapte aux deux boîtes, trois ou quatre bouts de tuyaux, à charnières, dans lesquels on fiche des bâtons de la grandeur que l'on veut, pour servir de pied à l'instrument; comme on fait dans la campagne, aux graphomètres, aux demi-cercles, etc. avec lesquels on a coutume d'y lever des plans.

Rectification de ce Niveau.

(43.) On rectifiera et vérifiera ce Niveau, par le renversement de ses pinnules, et par le déplacement respectif des boîtes flottantes, qui les portent. Il faut pour cela, comme je l'ai dit, que ces boîtes soient parfaitement égales. Les châssis ou pinnules doivent, en outre, avoir exactement même largeur, même hauteur, et même poids, afin de pouvoir être mises dans les coulisses de haut en bas, et changées d'une boîte à l'autre sans que, dans ce changement, les boîtes sur lesquelles on les met, enfoncent plus ou moins dans l'eau. Cela fait,

1°. On donnera d'abord un coup de Niveau vers un objet; et l'on remarquera exactement celui de ses points, où vise la croix des filets; ayant renversé le châssis qui porte le verre objectif dans sa coulisse, on observera si elle vise encore au même endroit où elle visoit avant le renversement. Si elle donne sur le même point, on est assuré que le centre de la double convexité du verre, est dans

le milieu de la hauteur de son châssis; s'il n'y est pas, il faut tourner le verre dans son châssis, ou bien l'élever, ou l'abaisser, jusqu'à ce qu'il s'y rencontre exactement, en réitérant l'observation.

On fera la même chose pour l'autre châssis qui porte les filets; si le même point, se trouve couvert par le filet horizontal, dans la première position et dans le renversement, il est évident que ce filet est au milieu de son châssis; s'il n'y est pas, on l'y ramenera à l'aide de dérangemens convenables.

Par ces deux opérations, l'on est assuré que la lunette est centrée, de manière que la ligne qui va du filet horizontal au centre du verre objectif, demeure toujours dans le même plan. Mais il faut savoir de plus, si ce plan est parallèle à la superficie de l'eau, que l'on suppose être de niveau.

Pour le vérifier, on observera le point de mire où donne la lunette, on changera d'une boîte à l'autre le châssis des filets et celui de l'objectif; après quoi les boîtes seront elles-mêmes changées d'un vase dans l'autre : alors si la lunette donne encore le même point de mire, qu'elle indiquait auparavant, le Niveau sera entièrement rectifié. Mais si elle donne trop haut, ou trop bas, il faudra élever, ou abaisser, les châssis dans leurs coulisses, autant qu'il sera nécessaire, pour que la lunette vise au point milieu, des deux points de mire que l'on aura trouvés; après quoi on recommencera la vérification, en répétant, plusieurs fois, le changement des châssis d'une boîte à l'autre, et des boîtes de l'un à l'autre vase.

(44.) Au lieu des filets de ver à soie, ou des fils de soie, on pourrait, à cause de la proximité de l'eau des vases, employer de petits fils d'argent,

dont on prendrait la partie supérieure, ou inférieure, pour déterminer les points de mire.

Les boîtes qui portent les châssis ou pinnules, ont été faites égales en figure, et en pesanteur, afin de pouvoir s'élever ou s'abaisser également, lorsque l'eau se condense ou se dilate.

On doit observer que le Niveau de La Hire, détermine le niveau apparent, à l'égard du point qui est au milieu des deux pinnules; mais la croix des filets en est si près, que l'on peut prendre les mesures à ce point, comme s'il était entre les deux pinnules, sans risquer de commettre une erreur sensible, dans les hauteurs des Nivellemens.

On déplace facilement ce Niveau, en conservant les boîtes, et les pinnules, dans un étui, sans qu'il soit besoin de le rectifier toutes les fois que l'on veut s'en servir. Tandis même qu'on nivelle, il ne faut jamais laisser les boîtes dans les vases, lorsque l'on transporte le Niveau d'une station à l'autre, de crainte que dans l'ébranlement qu'elles éprouveraient en chemin, il n'entre quelques gouttes d'eau dans les tuyaux qui portent les pinnules; ce qui en augmentant le poids des boîtes, ferait qu'elles s'enfonceraient inégalement dans l'eau.

(45.) La Hire, est l'inventeur d'un autre Niveau, dont il a donné la description, dans les Mémoires de l'Academie des Sciences, pour l'année 1704, page 252.

La principale pièce de ce Niveau, est une règle de fer, qui porte à ses deux extrémités des pinnules; un objectif ou verre ordinaire de lunette garnit la pinnule objective; et à la pinnule oculaire, est un morceau de verre, ou de glace, sur lequel on a tracé, avec la pointe d'un diamant, une petite ligne, ou un trait fort léger, tenant lieu des filets

de ver à soie, qui avaient été jusqu'alors employés, comme plus propre à faire des observations exactes.

Cette pinnule oculaire, ne reçoit aucun changement, aucune altération de la chaleur, ni du froid, ni du toucher, ni du transport de l'instrument. Celui-ci est de plus exempt de l'incommodité des insectes, qui s'attachent aux filets de soie. Le verre de la pinnule oculaire coule dans un châssis, et le Niveleur l'arrête où bon lui semble. La règle de fer tient lieu du corps de lunette, celle-ci n'a pas de verre oculaire, et son tube n'est autre que la boîte même du Niveau, qui est noircie intérieurement, et doit toujours être tenue bien fermée.

Cet instrument est fondé sur les propriétés des centres de gravité. Ce qu'on vient de lire suffit pour en donner une idée; sa description détaillée, son usage, les moyens de le vérifier, et de le rectifier, se trouvent dans les Mémoires cités plus haut.

M. Para, auteur de la *Théorie des Êtres sensibles*, et de celle des *Êtres insensibles*, etc. a publié, en 1780, à la suite du traité de Picard, un *Essai sur le Nivellement*, dans lequel il observe que, jusqu'à cette époque, les instrumens étaient trop peu perfectionnés, pour atteindre à une grande précision. Il résume ainsi les inconvéniens de chacun d'eux.

1°. Le Niveau de Picard (28, *fig.* 15) est sans contredit le plus exact; mais il a le grand défaut d'être embarrassant à manœuvrer; de ne pouvoir atteindre à la précision qu'à force de tâtonnemens minutieux et pénibles; de n'être pas aisément susceptible de la vérification par le renversement, celle de toutes qui, dans les Niveaux, indépendans de l'équilibre hydrostatique, est la plus sûre et la plus satisfaisante.

2°. Le Niveau de Huyghens (36, *fig.* 19) mérite encore de plus grands reproches sous le rapport de l'embarras; à cause de son huile, de ses viroles, de ses fourchettes, et de ses poids. D'ailleurs, dit M. Para, après l'ingénieur Lefèvre (39), est-on sûr, à chaque nouvelle opération, d'attacher le poids G G à la croix A B, avec assez de justesse pour que, de la gravitation de ce poids, doive toujours résulter une direction parfaitement horizontale dans la lunette? Si cela arrive, il est de fait qu'on n'en a pas l'assurance positive; et ce doute à cet égard, communique aux opérations même les plus exactes, une fâcheuse incertitude.

3°. Le *Niveau de La Hire* (42, *fig.* 23) n'est autre chose que celui des anciens, ou le Chorobate, avec des boîtes à pinnules flottantes sur l'eau, ce qui le rend un peu moins sûr, et beaucoup plus embarrassant. Il est très-difficile de faire les boîtes à pinnules, d'une pesanteur parfaitement égale, la rouille peut les ronger et l'humidité les pénétrer inégalement; il est mal aisé, pour ne pas dire impossible, de se garantir de toute inégalité de frottement, d'où il résulte que ce Niveau, s'il donne la précision dans un temps, ne peut l'assurer dans un autre, au même degré.

4°. Le *Niveau de Rœmer* (40, *fig.* 22) est le moins parfait, et le plus borné de tous dans son usage. Son exactitude dépend d'un poids qui doit donner à la lunette une direction toujours horizontale, fonction dont rien ne garantit qu'il s'acquitte avec rigueur, à cause du frottement de ses pivots sur leurs supports.

Niveau à perpendicule de Para.

(46.) L'auteur cité de l'*Essai sur le Nivellement*, donne la description d'un Niveau à perpendicule, qui me paraît préférable en tout, à celui de Picard, et à ceux que j'ai décrits précédemment; j'entrerai dans quelques détails à son sujet.

Il consiste en une lunette d'approche CD (*fig.* 24), d'environ un mètre de longueur, n'ayant qu'un seul oculaire, pour donner plus de clarté; elle doit avoir à son foyer des fils en croix, qui lui tiennent lieu de pinnules.

Le corps de la lunette, au lieu d'être de bois, ou de carton, est un tube cylindrique de fer, ou de laiton, d'environ 4 centimètres de diamètre, assez fort pour n'être aucunement exposé à se fausser; dans ce tube sont, une fois pour toutes, invariablement arrêtés et fixés à leur vraie place, le triple objectif, et les filets du foyer. L'oculaire y est seul mobile, dans un petit canon de laiton, lequel s'enfonce plus ou moins, selon la vue de l'observateur.

La partie MN de la lunette, est enveloppée d'une forte virole, aussi de fer ou de laiton, laquelle est fixée à vis et à demeure; cette virole d'environ 22 centimètres de longueur, sur 7 millimètres d'épaisseur, forme dans ses extrémités M, et N, un petit bourrelet circulaire, contre lequel s'appuie la pression des deux montans échancrés en espèce d'échelle, qui sert de pied à tout l'instrument.

En G H, vers le milieu du tube de la lunette, cette virole se termine antérieurement par un plan solide et un peu saillant, auquel est attachée et fixée, une grande règle de fer AB, servant de fond à une boîte rectangulaire, en forme de pe-

tit canal, dans laquelle doit être placé le perpendicule, c'est-à-dire, le fil à plomb.

Ce canal doit être long d'environ 16 décimètres; son fond, ou la règle de fer, aura 4 centimètres de largeur sur un centimètre d'épaisseur, ce qui la rendra assez forte, pour ne pas se fausser. Il faut qu'elle soit bien droite et bien polie, sur toute la surface qui forme le fond du canal rectangulaire, dont les trois autres faces peuvent être de fer-blanc; les deux latérales sont soudées sur la règle de fer, celle de devant s'ouvre et se ferme au moyen de charnières, comme une porte sur ses gonds. Le diamètre vide du canal est d'environ 3 centimètres. La règle de fer a, de part et d'autre, vers son milieu, un petit renflement saillant, par où elle peut être fixée, avec des vis, en G et H, sur le plan solide et saillant, qui termine antérieurement la virole de fer, qui embrasse le tube de la lunette, de manière que sa direction A B, soit exactement coupée à angles droits par l'axe de cette lunette.

Aux deux extrémités A, et B, de la règle, s'élève perpendiculairement à son plan, un petit cylindre d'acier, poli, garni d'un crochet de l'épaisseur d'une forte aiguille, et d'environ un centimètre de longueur; à l'un ou l'autre de ces crochets est attaché, par une gance, le cheveu ou fil de soie qui soutient le plomb P.

Ce plomb doit peser environ 47 grammes. Dans le transport de l'instrument, il est arrêté et fixé dans la petite alvéole adjacente A ou B, par une quantité suffisante de coton, que l'on met entre le plomb et le couvercle de la boîte. Au-dessous des points de suspension, et auprès des deux alvéoles, sont enchâssés deux petits demi-cercles *m* et *n*, d'argent ou de laiton, dont la circonférence est divisée en

parties, qui font juger de la direction du fil à plomb.

En B, auprès du plomb, la face antérieure de la boîte peut être recouverte d'un verre blanc, afin que si l'on juge à propos de la fermer, pour garantir le fil à plomb de l'agitation de l'air, on puisse encore voir à travers la vraie position de ce fil.

D'après cette nouvelle construction, le perpendicule a plus de longueur, qu'il n'en avait dans l'ancienne; il faut moins se baisser, pour en observer la position exacte, ce qui est un avantage réel.

Le pied de ce Niveau, d'un bois solide et ferme, est une espèce d'échelle double, haute d'environ 15 décimètres, et qui n'a qu'un seul échelon RS; deux fortes baguettes de fer TV et XY, terminées en vis à l'une de leurs extrémités V et Y, y sont serrées par leurs écroux, et donnent aux deux montans MX, et NY, conjointement avec l'unique échelon, toute la stabilité dont ils peuvent avoir besoin.

De la face opposée des deux premiers montans, derrière les points E et F, sortent les deux autres montans; ils sont arrêtés par des charnières, ou par des anneaux de fer, qui leur permettent de se porter plus ou moins en arrière, selon l'exigence du terrain où pose le niveau.

Au sommet des deux premiers montans, sont pratiquées en M et en N, deux échancrures correspondantes, dans lesquelles on place la partie du tube de la lunette, où finit de part et d'autre la virole de fer ou de laiton, avec son double bourrelet. L'une de ces échancrures, celle qui est en N du côté de l'objectif, a environ un décimètre de profondeur, sur une largeur exactement égale à celle du tube cylindrique qu'elle doit embrasser; sa partie inférieure est un demi-cercle. L'autre échancrure, celle qui est en M du côté de l'oculaire, est

plus profonde d'environ 3 centimètres ; sur celle-ci l'on pratique une coulisse qui lui est perpendiculaire, et dans laquelle on place un plan solide *a b c d* (*fig.* 25) de cuivre ou de fer bien poli, pour servir de support mobile au tube de la lunette. Ce support a une échancrure *a c* parfaitement égale en tout à celle qui est en N. Il faut que ces deux échancrures se correspondent quand le support a été placé dans sa coulisse en M, où il doit toucher immédiatement le bourrelet de la lunette ; de ce côté-là, l'échancrure faite au bois ou montant MX, est un peu agrandie dans toute sa hauteur, jusqu'à la rencontre du support mobile, afin qu'elle puisse recevoir, à la fois, et le cylindre et le bourrelet de la lunette.

Au moyen d'une vis à écrou *k*, placée en K (*fig.* 24), ce support mobile se meut peu à peu, de haut en bas, où de bas en haut, de manière à pouvoir rendre l'axe de la lunette exactement perpendiculaire au fil à plomb ; c'est en cela que consiste la perfection de l'instrument.

Usage de ce Niveau, manière de s'en servir.

(47.) Un exemple suffira pour indiquer comment on emploie ce Niveau.

Après avoir choisi et déterminé une station quelconque A (*fig.* 17), prise pour l'un des termes du Nivellement, on y établira d'une manière solide, l'échelle double qui sert de pied au Niveau, de sorte que par les deux échancrures correspondantes, où doit être placée la lunette, on puisse voir un jalon BK, qui sera élevé perpendiculairement sur l'autre terme B du Nivellement.

On posera ensuite la lunette dans les deux échancrures correspondantes des montans de son pied,

qui déjà seront à très-peu de chose près dans une ligne horizontale, mais de manière que l'on puisse apercevoir le jalon placé à l'autre point B.

Enfin, au moyen du support mobile et de la vis qui y est fixée, on élevera ou abaissera l'extrémité aboutissante de la lunette, jusqu'à ce que la ligne du fil à plomb AP (*fig.* 24), passe exactement par le centre du petit demi-cercle *n* qui se trouve auprès du plomb.

La pression des deux premiers montans du pied, contre les deux bourrelets de la lunette, pression que l'on peut augmenter ou diminuer autant qu'on veut, en serrant plus ou moins l'écrou à levier V sera suffisante pour maintenir invariablement le canal AB, dans la position fixe et précise qu'il importe de lui donner à chaque opération, ce qui évite l'embarras dont on aurait bien de la peine à se tirer, en employant le Niveau de Picard.

Après ces opérations, si l'on suppose que l'instrument soit parfaitement juste, ou que le fil AP du perpendicule, et l'axe $a\ x$ de la lunette, se coupent à angles droits; il est évident que le point de mire, sera exactement dans le niveau apparent de l'œil placé en C.

L'important est de faire en sorte que, par la construction du Niveau, l'axe de la lunette soit toujours coupé à angle droit, par la ligne du fil à plomb; ce dont on sera certain quand cette ligne se tiendra précisément sur le centre du petit demi-cercle qui est auprès du plomb. J'indiquerai ci-dessous le moyen d'obtenir ce résultat.

Vérification de ce Niveau.

(48) L'objet que l'on doit remplir en se servant du Niveau à perpendicule, est de donner au rayon

visuel le long de l'axe *n x* de la lunette, une direction perpendiculaire à celle du fil à plomb AP (*fig.* 24), et par là même, une direction horizontale, puisque celle-ci coupe exactement à angles droits la ligne du fil à plomb.

On suppose ce Niveau contruit avec l'attention la plus scrupuleuse, avec tous les soins capables de le rendre juste et exact ; il s'agit de reconnaître s'il est réellement propre à l'objet auquel on le destine ; ou d'examiner si, lorsque le fil à plomb bat librement sur les centres des demi-cercles *m* et *n*, la direction de ce fil à plomb coupe exactement à angles droits l'axe de la lunette, ou une ligne parallèle à cet axe ; c'est dans cet examen que consiste la vérification du Niveau, qui peut être faite de plusieurs manières.

On pourrait en effet vérifier ce Niveau par une des deux méthodes expliquées (29, 32) ; mais la méthode du renversement, a l'avantage de pouvoir être renouvelée sans peine à chaque opération ; elle consiste à faire tourner sur eux mêmes le canal du perpendicule et le canon de la lunette, en sorte que le fil à plomb soit suspendu perpendiculairement, tantôt de A en B, tantôt de B en A.

Pour développer la vérification par le renversement, supposons que le Niveau dont il s'agit soit fixé et bien établi sur son pied, en AR (*fig.* 17) ; que l'axe de la lunette et le rayon visuel aient la direction RD, tandis que le fil à plomb dans sa suspension libre, bat exactement sur les centres des deux demi-cercles qui servent à déterminer sa direction.

Si l'angle ARD formé par l'intersection du fil à plomb et du rayon visuel est droit, avant et après le renversement, l'œil étant toujours placé en N,

le rayon visuel devra encore aboutir en D; dans ce cas l'instrument est évidemment juste, et n'a aucun besoin de rectification.

Si l'angle ARD, au lieu d'être exactement droit est un peu obtus, après le renversement, le rayon visuel n'aboutira plus au même point D, il aboutira à un point inférieur G; dans ce cas l'instrument aura besoin d'être rectifié, de manière, qu'après le renversement, le rayon visuel aboutisse toujours à un même point H, également distant des deux points G et D.

Si l'angle ARD est un peu aigu : après le renversement, le rayon visuel n'aboutira plus en D, mais vers K. Dans ce cas, l'instrument aura encore besoin de rectification; on la lui procurera, en faisant en sorte qu'avant et après le renversement, le rayon visuel aboutisse toujours à un même point, pris à égale distance des points D et K.

Rectification de ce Niveau.

(49.) Pour rectifier ce Niveau d'une manière qui soit à la fois simple, sûre et permanente :

1°. Quand on posera et fixera le canal rectangulaire AB (*fig.* 24), sur le plan solide et saillant de la virole MN, par le moyen des vis à écrou G et H, on aura soin de faire en H, au plan de la virole, une ouverture un peu plus grande que n'est la vis cylindrique qui doit l'enfiler, et au moyen d'un écrou à double levier, qui, par derrière, enveloppera la vis H, on appliquera fortement le canal rectangulaire contre le plan de la virole, après avoir employé le compas ou l'équerre, pour lui donner une direction exactement perpendiculaire à l'axe de la lunette.

2°. Lorsqu'en vérifiant ce Niveau et cherchant à le rendre parfaitement juste, s'il ne l'est pas, on découvrira que l'angle AHD, prétendu exactement droit, est un peu obtus ou un peu aigu : pour corriger ce défaut, et pour donner à l'instrument une parfaite justesse, on desserrera un peu l'écrou de la vis H, afin d'avoir la liberté de pousser insensiblement la partie HA de la règle rectangulaire, du côté opposé à celui vers lequel elle penche. Ainsi, en répétant plusieurs fois, s'il le faut, l'épreuve du renversement, et en resserrant toujours la vis, après l'avoir relâchée, on parviendra enfin à trouver la direction précise où doit être arrêtée et fixée la règle rectangulaire ou le canal AB, pour que le fil à plomb qu'elle soutient, soit exactement perpendiculaire à l'axe de la lunette, ou à une ligne parallèle à cet axe.

3°. Après s'être assuré de la justesse du Niveau, par un nombre suffisant d'épreuves, toutes d'accord entre elles, on serrera fortement les vis G et H. Ensuite on percera deux nouveaux trous en *g* et en *h*, à travers la plaque du canal du perpendicule et celle de la virole, dans lesquels on fixera fortement deux autres vis à écrou, afin de rendre permanentes et invariables, les positions respectives du canal du perpendicule et du canon de la lunette.

Il est évident qu'un Niveau ainsi rectifié une fois pour toutes, sera toujours vérifiable dans le cours des opérations auxquelles on l'employera, puisqu'il ne s'agira que de lui faire subir, à chaque station, l'épreuve du renversement, qui est la plus certaine de toutes les vérifications, dont un tel instrument soit susceptible.

Notices de divers Niveaux approuvés par l'Académie des Sciences.

(50.) On trouve dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année 1699, la description d'un Niveau inventé par M. Couplet. La ressemblance de ce Niveau avec celui de La Hire, porte à croire qu'il n'a fait que perfectionner l'invention de son contemporain.

Dans la description des machines approuvées par l'Académie, on trouve (tome II, page 83) celle d'un Niveau inventé par M. Verjus; et d'un autre (tome VI, page 113) dont l'auteur est M. Grandjean de Fouchy. Ces instrumens, n'ont pû être d'aucune utilité, parce qu'on n'a découvert aucun moyen de les rectifier.

L'Académie approuva, en 1737, un Niveau qui lui fut présenté par M. l'abbé Soumille. Ce Niveau n'est autre chose qu'un pendule dont, par la disposition de la machine, les plus petites inclinaisons deviennent très-sensibles, et par conséquent aussi les moindres changemens de niveau.

M. de Gensac présenta aussi à l'Académie, en 1741, un Niveau à perpendicule, construit de manière que ses pièces essentielles sont à l'abri du vent. Il consiste principalement en un perpendicule chargé de deux miroirs, un peu inclinés à la verticale, et sur lesquels les objets extérieurs viennent se peindre, en passant, par deux ouvertures garnies de glaces, que l'on a ménagées dans une boîte bien close, renfermant le tout. Quoique les Niveaux à miroirs ne soient pas une invention nouvelle, celui-ci a paru très-bien imaginé, et a obtenu l'approbation de l'Académie; elle a pensé qu'il pour-

rait être aussi exact qu'aucun autre du même volume.

Un autre Niveau de l'invention de M. Mathieu, a été approuvé en 1746; cet instrument a beaucoup de rapport avec celui de Huyghens; il n'en diffère que parce que M. Mathieu a rendu les points de suspension mobiles, au moyen d'une vis. On a trouvé que cette mobilité des points de suspension, ou seulement de l'un deux, était très-utile, en ce qu'elle mettait à même de placer plus aisément le centre de gravité de l'instrument, sur le diamètre vertical.

M. de Parcieux, dans un Mémoire publié parmi ceux de l'Académie, pour l'année 1747, avait remarqué, comme l'a fait depuis M. Para, que le Niveau de La Hire avait plusieurs inconvéniens : d'abord dans les pinnules, par la difficulté, 1°. de rendre les boîtes flottantes parfaitement semblables, également grosses, et du même poids; 2°. de mettre toujours dans les vases la même quantité d'eau nécessaire, pour élever l'objectif à la hauteur de l'oculaire qui est dans un tuyau fixé à l'un des vases, etc.

M. Couplet, dont le Niveau était à peu près semblable à celui de La Hire, avait tâché de remédier à quelques-uns de ses inconvéniens, en mettant dans un même tuyau l'objectif, l'oculaire et les fils; il posait sa lunette sur les boîtes qu'il rendait également pesantes avec de la cendrée de plomb, et qu'il vérifiait, en mettant chacune d'elles, tantôt sous l'oculaire de la lunette, et tantôt sous l'objectif.

Quoique par ces changemens ce Niveau devînt beaucoup moins incommode, et qu'on pût s'en servir avec assurance, M. de Parcieux y trouvait

un nouvel inconvénient, celui d'être composé de plusieurs pièces qu'on était obligé d'assembler toutes les fois qu'on voulait s'en servir, soit pour le vérifier et l'ajuster, soit pour niveler réellement.

Dans le Niveau qu'a proposé M. de Parcieux, toutes les pièces sont soudées ensemble, c'est-à-dire, les lunettes et les boîtes flottantes qui les supportent. Il se vérifie à de grandes distances, et indépendamment d'une base mesurée, ce qui est un des plus grands avantages des Niveaux de Picard et de Huyghens : en y ajoutant les minutes et secondes d'inclinaison, comme à celui de Picard, on procurerait au Niveau de M. Deparcieux, tous les genres de mérite qui recommandent les deux que je viens de nommer. La description de ce Niveau se trouve, ainsi que ses divers usages, dans le Mémoire cité.

Observations de Chezy, sur les tubes des Niveaux à bulle d'air.

(51.) M. Chezy, directeur de l'école des Ponts et Chaussées, a publié dans un Mémoire imprimé parmi ceux qui ont été présentés à l'Académie des Sciences (tome V, page 254), des observations sur quelques instrumens propres à niveler. Il dit qu'un simple Niveau formé par un poids suspendu à un fil, peut servir, toutes les fois qu'on veut se contenter d'avoir l'horizon, sans une grande précision. Il recommande surtout que le fil soit très-fin, à peu près comme le quart d'un cheveu, et d'environ 3,^{m}50 de longueur.

Pour faire les Niveaux à bulle d'air, on emploie ordinairement les tubes tels qu'ils sortent des verreries; on se contente de choisir les plus droits et

les plus réguliers ; on les emplit presqu'entièrement d'esprit-de-vin ; et l'on examine quel est le côté du tube, où la bulle d'air que forme le vide, peut se tenir au milieu de la longueur, et où cette bulle d'air s'écarte plus sensiblement et plus régulièrement du milieu, lorsqu'on incline très-peu le tube. Le côté reconnu le meilleur, est choisi pour former le dessus ; les autres côtés sont assez indifférens à la perfection de l'instrument. On met de l'esprit-de-vin dans le tube, parce qu'il ne se gèle pas et qu'il est plus fluide que l'eau : l'éther vaut mieux, comme étant plus fluide encore. Le tube et la bulle doivent être longs : plus la bulle est longue, et plus elle est sensible à la moindre inclinaison. Une bulle très-petite est peu sensible, paraît attachée au verre, ou ne coule que très-lentement.

En faisant usage d'un Niveau de cette espèce, construit par Langlois, on a remarqué que s'il était exact le matin, à la fraîcheur, il ne l'était plus vers le milieu du jour quand il faisait chaud ; et qu'après l'avoir rectifié au milieu du jour, il n'était pas juste le soir, après que la chaleur était passée ; que la bulle d'air était bien plus étendue par le froid que par le chaud : que moins étendue, elle était peu sensible ; que plus étendue, elle l'était trop, et ne pouvait se tenir au milieu du tube. Ces défauts, quoique petits, et demandant pour être aperçus, des observations presque minutieuses, ont paru néanmoins trop graves, et fait naître le désir de les corriger. On a remarqué qu'ils venaient de l'irrégularité de la surface intérieure du tube. L'examen d'un grand nombre de tubes choisis pour de pareils Niveaux, a donné lieu de croire que tous ces Niveaux devaient avoir, plus ou moins, les mêmes incon-

véniens, parce qu'il ne s'est trouvé aucun tube, dont la surface intérieure fût régulière; elle n'était cylindrique qu'autant qu'une glace est plane au sortir de la verrerie, avant d'être dressée; et alors on en voit aisément les inégalités

On a donc pensé, qu'il fallait dresser la surface intérieure des tubes, lui donner régulièrement la forme d'une surface de révolution, dont les deux côtés diamétralement opposés, fussent deux portions de cercle d'un très-grand rayon. Pour y parvenir, on a préparé une baguette de fer, deux fois aussi longue que le tube qu'on voulait dresser; on a fait passer cette baguette dans un canon cylindrique de cuivre, de la longueur du tube; le canon a été fixé au milieu de la baguette : la grosseur ou le diamètre extérieur du cylindre de cuivre, était presque égal au diamètre de l'intérieur du tube, dans lequel on a fait entrer le canon de cuivre avec la baguette, dont chaque bout a été arrêté entre les pointes d'un tour. On a mis un peu d'eau et d'émeri très-fin, sur le cylindre de cuivre; on a frotté légèrement l'intérieur du tube le long de ce cylindre, le faisant aller et venir dans toute sa longueur : on le tenait par le milieu pour l'user également, et on le tournait sur son axe de temps en temps, ainsi que la baguette de fer, afin que le tout pût s'user régulièrement. A peine avait-on commencé cette opération, que le tube s'est cassé; plusieurs autres ont eu le même sort, quoiqu'ils fussent bien recuits. On a pensé que l'émeri qui s'attachait au cuivre, contribuait à faire fendre le verre, chaque grain continuant son impression dans une même ligne droite, avec une même pointe, qui pouvait être quelquefois, aussi bien disposée pour couper le verre, que celle d'un diamant. On a substitué au cylindre de cuivre, un

cylindre ou canon de verre : l'émeri roulant sur ce nouveau cylindre, au lieu de s'y attacher, a eu un meilleur succès : on est parvenu à user toutes les inégalités du tube, de sorte qu'à tous les points de la circonférence, le tube et le cylindre se touchaient exactement dans toute leur longueur. On a continué la même opération, en employant un émeri de plus en plus fin, pour adoucir le tube, et le disposer à être poli; ensuite, le tube et le cylindre ayant été bien lavés et nettoyés, on a collé un papier mince autour du cylindre, sur toute sa surface, et on a recouvert le papier également, d'un peu de tripoli de Venise : on a remis le tube autour du cylindre, et on l'a frotté, comme auparavant, jusqu'à ce qu'il fût bien poli.

Un tube ainsi travaillé, peut se trouver suffisamment sensible, si avant le travail, indépendamment des inégalités particulières de l'intérieur du tube, et de l'extérieur du cylindre, leurs diamètres sont en total plus grands au milieu, qu'aux extrémités, pourvu que l'excédant ne soit pas trop considérable : si cet excédant était fort petit ou nul, et, à plus forte raison, si les diamètres sont plus grands aux extrémités qu'au milieu, alors le tube est trop sensible; la bulle ne peut se tenir au milieu, ou même elle se partage en deux, une partie restant à chaque bout.

Pour corriger ces défauts, et donner à l'instrument le degré de perfection désiré, l'on examine en quel état est le tube avant qu'il soit entièrement adouci : pour cela, après l'avoir bien nettoyé, on y introduit une quantité suffisante d'esprit-de-vin; on bouche avec du liége, chaque bout du tube; on le pose sur deux chevalets attachés à une règle; on élève ou l'on baisse l'un des bouts de la règle au

moyen d'une vis de micromètre, dont la tête large et graduée, marque, vis-à-vis un index, le chemin que l'on fait faire à la vis : on reconnaît aisément par-là, le degré de sensibilité du tube; si elle est trop grande on la rend moindre, en travaillant le tube sur un cylindre plus court : si elle est trop petite, on la corrige en travaillant le tube sur un cylindre plus long. Il faut donc avoir plusieurs cylindres de même diamètre, et de différentes longueurs, qu'on aura dressés, en les travaillant avec de l'émeri, dans une auge ou demi-cylindre creux de laiton; au moyen de ces cylindres on ajuste le tube d'un niveau, et on l'amène au degré de sensibilité que l'on désire : après y être parvenu, l'on achève promptement d'adoucir le tube, et on le polit.

Un tube ainsi travaillé, avait 32 centimètres de longueur; le cylindre sur lequel il a été travaillé d'abord, avait la même longueur : le tube étant fini, s'est trouvé trop sensible; on a continué de le travailler sur un cylindre long de 24 à 27 centimètres; ce qui a diminué sa sensibilité, et l'a rendu telle, que la bulle, qui avait 25 centimètres de longueur, lorsque le thermomètre de Réaumur était à 16 degrés au-dessus de la glace fondante, s'écartait du milieu du tube exactement de 2 millimètres pour chaque seconde de degré d'inclinaison. On s'est contenté de ce degré de sensibilité; on en obtiendra une plus grande quand on voudra, en suivant d'une manière convenable, les procédés ci-dessus indiqués.

Il est à remarquer qu'un tube qu'on travaille intérieurement, est fort sujet à se fendre; cela n'arrive point lorsqu'on le travaille à l'extérieur, même avec du gros émeri, mais dès qu'une fois la première surface intérieure est usée, le tube ne se fend plus;

on peut employer de l'émeri moins fin sans danger. Les tubes dont le verre est épais sont plus sujets à se fendre que ceux dont le verre est mince : le plus gros émeri avec lequel on a dressé le tube mentionné ci-dessus, était encore assez fin pour mettre une minute, à descendre dans l'eau, de o,^{m}081 de hauteur.

CHAPITRE III.

Suite de la description et de l'usage des Instrumens employés dans le Nivellement topographique.

Du Niveau d'eau.

(52.) J'ai donné dans le chapitre précédent la description des anciens niveaux ; je vais passer à celle des instrumens qui leur ont succédé, ils sont en général plus exacts, et par cette raison, d'un usage plus fréquent.

Le plus simple de tous ces niveaux, est le *Niveau d'eau.* Il est composé d'un tuyau cylindrique MM′ (*fig.* 26), recourbé par les deux bouts, de manière à recevoir deux fioles de verre F, F′, ouvertes l'une et l'autre, à leurs extrémités. Ce tuyau est monté comme les graphomètres, sur un genou placé au milieu de MM′, ou sur une douille P, le tout porté sur un pied à trois branches B, B′, B″. A l'aide de cette disposition, l'on peut incliner, élever, abaisser, et faire tourner l'instrument à volonté. La plupart de ces niveaux sont construits en ferblanc, mais les plus solides et les plus commodes

sont en cuivre, et de la forme représentée (*fig*. 26).

Pour se servir de cet instrument, on verse de l'eau dans une des fioles : bientôt elle s'introduit dans l'autre, par la branche MM'; on en verse une quantité suffisante, pour remplir les deux fioles à peu près aux deux tiers. Alors, quand les deux surfaces de l'eau ne sont plus agitées, elles sont de niveau : en vertu de la propriété des fluides pesans, qui se mettent toujours dans cette situation, lorsqu'ils agissent librement. Toutefois, il est nécessaire qu'il n'y ait aucune bulle d'air, dans l'intérieur de la branche MM'. On conçoit, en effet, que malgré qu'il y ait équilibre entre les deux colonnes FM, F'M', les deux surfaces g, g', ne peuvent être de niveau entre elles, si ces colonnes n'ont pas la même pesanteur spécifique ; et c'est ce qui arrive, lorsque des bulles d'air sont renfermées dans la branche MM'. Pour faire sortir ces bulles, on bouche l'une des fioles, et l'on penche l'instrument, de manière que la colonne fluide soit à peu près verticale : alors tout l'air qui peut y être contenu, s'élève et s'échappe par l'autre fiole. L'instrument n'a pas besoin d'autre vérification.

A parler rigoureusement, les deux surfaces g et g', ne sont pas parfaitement de niveau dans tous leurs points, comme le prouve l'expérience. En effet, si les fioles cylindriques ont un petit diamètre, les molécules aqueuses en contact avec les parois du verre, sont, à la surface supérieure du fluide, plus élevées que celles qui répondent à l'axe de la colonne fluide, et cette surface paraît concave. Ce phénomène provient de l'action de la pesanteur, et de ce que l'intensité de l'attraction du tube sur le fluide, surpasse celle de l'attraction du fluide sur lui-même. (Voyez sur ce sujet la *Théorie des*

tubes capillaires, par M. La Place, et le *Traité de physique* de M. Haüy, seconde édition.)

Le mercure renfermé dans un tube de verre étroit, présente un effet tout contraire; mais MM. La Place et Lavoisier ont reconnu, dans des expériences qu'ils ont faites sur le baromètre, que la surface intérieure du mercure pouvait perdre entièrement sa convexité, et même devenir concave, en faisant bouillir long-temps ce fluide métallique, pour débarrasser la paroi intérieure du tube, de la petite couche aqueuse qui la recouvre; et qui par son interposition, affaiblit l'action réciproque du verre et du mercure.

Concluons de là, qu'un rayon visuel, pour être horizontal, doit raser les bords des onglets ou ménisques mnp, $m'n'p'$ (*fig.* 27), formés par le fluide et supposés égaux; ou, mieux encore, être dans un plan passant par les points n, n', les plus bas des extrémités des colonnes aqueuses. A une petite distance de l'instrument, les surfaces latérales des onglets ne paraissent que comme des lignes noires, tracées horizontalement sur le verre, et dans ce cas elles indiquent assez exactement la position d'un plan horizontal. Le niveleur fera donc bien de se placer à cette distance, en disposant son rayon visuel tangentiellement aux parois extérieures des fioles, et dans le plan déterminé par les lignes dont il s'agit, ce qu'il peut évidemment faire de quatre manières différentes.

Il est important que les fioles soient d'un verre bien transparent, et aient les mêmes dimensions; car si l'une était d'un diamètre intérieur beaucoup plus petit que l'autre, les surfaces supérieures du fluide ne seraient pas parfaitement de niveau entre elles, en vertu de l'effet capillaire qui se manifes-

terait sensiblement dans la fiole la plus étroite, et pour lors la ligne réputée horizontale, serait un peu inclinée à l'horizon. D'ailleurs les diverses lignes horizontales que l'on obtiendrait en faisant tourner l'instrument sur son pied, ne seraient pas toutes dans un même plan, si la tige n'était pas parfaitement perpendiculaire au rayon visuel.

Pour se convaincre de cette dernière vérité, supposons, premièrement, que le point A (*fig.* 27), soit à égale distance des axes MF, M′ F′, des deux fioles de mêmes dimensions; que l'instrument incliné sur son pied PP′, étant dirigé selon *ab*, donne l'horizontale HH′; et qu'étant dirigé ensuite suivant une autre ligne *cd*, il donne l'horizontale KK′, il est évident alors, que les portions de liquide comprises de part et d'autre, entre les deux sections elliptiques, auront toujours même volume, et que, quelle que soit la position de l'instrument à l'égard des points de l'horizon, toutes les lignes, telles que HH′, KK′, couperont la première au même point A, situé sur l'axe de rotation AP, et sur l'horizontale HH′.

Mais si l'une des fioles, F′ par exemple, avait un diamètre intérieur plus petit que l'autre, les volumes résultant de la section d'un plan KK′, mené sur le point en question, ne seraient plus équivalens, et le plus petit appartiendrait visiblement au tube le plus étroit : ainsi, en supposant que dans celui-ci la surface de l'eau soit baissée d'un millimètre mesuré sur l'axe F′ M′, elle s'élèvera d'une moindre quantité dans le tube le plus large, puisqu'il doit y avoir égalité de volume : et dans ce cas la ligne de niveau KK′, coupera nécessairement l'axe de rotation AP, au-dessous du point A; d'où l'on doit conclure, qu'à moins que les deux tubes

de verre n'aient le même diamètre intérieur, les surfaces horizontales qu'on obtient en faisant tourner l'instrument sur son pied, ne sont pas toutes dans un même plan. Au surplus, quand même il y aurait une inégalité sensible, entre les diamètres des deux fioles, pourvu qu'elles ne fussent pas capillaires, cela n'empêcherait pas qu'on ne pût se servir de l'instrument, en toute confiance; il suffirait alors, de le placer sur la droite qui joint les deux points à niveler, et de le laisser dans la même position.

On doit bien prendre garde que l'eau, durant l'observation, ne s'échappe du niveau par les jointures des pièces qui le composent; et il est nécessaire, pendant les grandes chaleurs, et surtout pendant les pluies, que l'observation soit de peu de durée à chaque station, afin que l'eau n'ait pas le temps de s'évaporer, ou d'augmenter de volume. Ordinairement on la colore pour la rendre plus apparente.

Lorsque l'on transporte le niveau d'eau d'une station à une autre, on bouche une de ses fioles, et on incline cet instrument, pour que l'eau ne puisse pas se répandre; car si on est obligé d'en remettre souvent, l'opération du Nivellement se prolonge, par la nécessité de vérifier si le tuyau ne recèle pas quelques bulles d'air. C'est aussi en bouchant par intervalle une des fioles avec le doigt, et le retirant ensuite doucement, que l'on finit par diminuer le balancement de la colonne aqueuse, occasionné par le mouvement que l'instrument a reçu, pour être dirigé sur le point de mire.

Description de la mire.

(53.) Pour savoir où aboutit la ligne horizontale donnée par un niveau, l'on se sert ordinairement d'une *mire*. C'est un instrument composé d'une perche droite, ou d'un linteau de bois divisé en décimètres, et centimètres, le long duquel glisse à volonté, une plaque rectangulaire *a b c d* (*fig.* 28), nommée *voyant*. On donne à cette plaque faite de bois mince, ou de gros carton, ou encore mieux de tôle, 25 centimètres de largeur, sur 16 centimètres de hauteur environ, et on la divise par compartimens, ainsi que le représente la figure 29. Afin de pouvoir la faire monter ou descendre le long de la perche, on y attache une petite règle que le manœuvre tient d'une main, et meut ou arrête au gré du niveleur.

Quoique l'usage soit de faire passer le rayon visuel sur la ligne milieu du voyant, cependant, lorsqu'on est placé entre les deux points dont on cherche la différence de niveau, on peut prendre constamment pour hauteur, celle qui se trouve depuis le pied de la mire jusqu'au bas du voyant; autrement, il faudrait ajouter à chaque hauteur la moitié de celle du voyant. Les mesures sont données par la règle elle-même, qui est divisée ainsi qu'il suit, lorsque l'on veut prendre le milieu du voyant pour la ligne de mire.

En supposant que le voyant ait 16 centimètres de hauteur, le pied de la mire doit être coté 8 centimètres, parce que quand le bas du voyant *affleure*, ou coïncide exactement avec le bas de la perche, contre laquelle il est appuyé, la ligne de visée est plus élevée précisément de la moitié de la hauteur du voyant.

Il est encore plus simple de marquer sur la règle

qui porte le voyant, la ligne de mire, et de tourner les divisions de la perche, du côté opposé au niveleur. Le manœuvre, dans ce cas, fait glisser le long de la face latérale de la perche, la règle du voyant, traversant deux anneaux de fil d'archal, adaptés à la règle même, pour l'empêcher de vaciller. Alors, la mesure de la hauteur cherchée, est donnée immédiatement, par le nombre de centimètres compris depuis le pied marqué 0, jusqu'au centre du voyant. Cette mire est d'une construction très-simple; mais voici la construction d'une autre, beaucoup plus commode à tous égards.

Le voyant de cette nouvelle mire, auquel on donne 20 centimètres de hauteur, et 30 de largeur, est attaché à l'extrémité d'une règle de $2,^{m}16$ assujettie à couler dans une rainure, faite sur la longueur d'une autre règle de bois de sapin, ou de noyer bien sec, de deux mètres de hauteur, et de 25 à 30 millimètres d'équarrissage. L'une des faces latérales de cette dernière règle, est divisée de bas en haut en décimètres et centimètres; la face opposée est divisée de même, mais les numéros s'y lisent de haut en bas; la règle ou languette qui porte le voyant, est aussi divisée de haut en bas, à partir de la ligne $m\,n$, (*fig.* 28), et en commençant par le n° 20. C'est ce que l'on comprendra très-aisément à la seule inspection de la figure.

Lorsque l'on se sert de cette mire, il peut arriver 1°. que la ligne de visée soit, à partir du pied, entre 2 et 4 mètres; 2°. entre 20 et 19 centimètres; 3°. au-dessous de 19 centimètres.

Dans le premier cas, on haussera le voyant, et quand son milieu sera à la hauteur du rayon visuel, on arrêtera la languette au moyen de la vis de pression P. Le nombre de centimètres marqués par la

ligne *e g*, sera la hauteur du point de mire au-dessus du pied.

Dans le second cas, quand le milieu du voyant sera dans la direction du rayon visuel, on serrera la vis de pression, et l'on fera usage des divisions latérales qui se lisent en montant.

Dans le troisième cas, on retournera la mire de haut en bas; et quand le milieu du voyant aura été amené à l'extrémité du rayon visuel, on comptera les divisions latérales, qui se liront de même en montant.

Quoique nous supposions la mire divisée en centimètres, qui sont des parties fort petites, il est utile de se servir quelquefois du double décimètre, pour estimer plus aisément les fractions de centimètres, lorsque la ligne de visée tombe entre deux lignes de division de la mire.

Je n'entrerai pas dans d'autres détails sur cet instrument, parce que son usage ne présente aucune difficulté. Cependant j'observerai qu'il importe de le confier à un aide intelligent, qui puisse, au besoin, écrire lui-même sur un calepin, toutes les hauteurs ou cotes, des points où il est chargé de stationner loin du niveleur.

Niveau d'eau de M. Busson, manière de s'en servir, et ses observations sur le Nivellement.

(53 *bis*.) Je ne saurais aller plus loin, sans indiquer un nouveau niveau d'eau, de l'invention de M. Busson-d'Escars, décrit dans son dernier traité du Nivellement, imprimé, avec tout le luxe typographique, à Parme, chez Bodoni, en 1813 (*). Il coûte peu en province; M. Busson en a fait faire un à Côni, qui

(*) Ce Niveau se fabrique à Paris, chez M. Bellet, cour de la Sainte-Chapelle du Palais, n°. 3.

ne lui est revenu qu'à 7 francs, non compris le trépied. Il emploie depuis long-temps dans ses Nivellemens cet instrument, qui offre plusieurs avantages que n'a pas l'ancien niveau d'eau.

M. Busson a fait, et a recueilli beaucoup d'observations importantes; je vais présenter les principales, aux personnes qui emploieraient le nouvel instrument, et qui ne pourraient pas se procurer l'ouvrage de cet auteur.

Pour opérer avec plus de justesse, au moyen de ce niveau d'eau, il faut que les deux points dont on veut déterminer d'un seul coup, la différence de niveau, ne soient pas à plus de 50 mètres l'un de l'autre. Un observateur qui n'aurait pas la vue fatiguée par l'âge, ou par l'étude, pourrait niveler avec précision d'un seul coup, deux points éloignés de 60 mètres.

Lorsqu'on veut niveler deux points que sépare une distance considérable, il est nécessaire de changer le niveau de place, un nombre suffisant de fois, pour qu'à chaque Nivellement simple, on n'ait à opérer que sur des points, qui ne soient pas à plus de 50 ou 60 mètres l'un de l'autre.

Il peut arriver, quand on fait le tracé des ordonnées sur le plan, qu'elles soient trop courtes, pour que la valeur en puisse être écrite le long de leur dimension; alors on augmentera chacune à volonté de 10, 15 ou de 20 mètres. Lorsqu'il n'y a qu'un très-petit nombre d'ordonnées qui soient trop courtes, pour qu'on puisse en écrire la valeur; au lieu d'allonger toutes les ordonnées, dont plusieurs sont déjà quelquefois trop longues, on peut se contenter d'écrire la valeur des ordonnées qui sont trop courtes, au-dessus ou au-dessous de ces mêmes ordonnées.

Dès que le niveleur est bien certain que les cotes qu'il a trouvées sont exactes, il rapporte son Nivellement au moyen d'une échelle de parties égales. M. Busson a pris pour échelle des longueurs et des hauteurs, un demi-millimètre par mètre.

Pour que les différentes surfaces de niveau qu'on obtient, en faisant faire des fractions de tour d'horizon au niveau d'eau, soient toutes situées dans un même plan, il faut que les diamètres des deux tubes de verre soient égaux.

La douille du niveau doit s'adapter à la tige du trépied, de manière que l'instrument ne fasse pas la bascule, lorsqu'on lui fait faire une fraction de tour d'horizon.

Quand deux niveleurs appliquent successivement l'œil au niveau d'eau, il est rare que le rayon visuel de chacun d'eux aboutisse au même point de la mire; l'un voit presque toujours plus bas que l'autre. S'il arrivait donc que deux personnes nivelassent alternativement, il faudrait que le même observateur eût soin de faire seul, et en entier, le Nivellement simple qu'il aurait commencé.

La mire doit être placée le plus verticalement possible.

Il faut avoir soin, avant de donner le premier coup de niveau, de chasser les bulles d'air qui se trouvent dans l'eau, ce que l'on fait en frappant de petits coups sur le tube.

Lorsque la mire est sur un des points intermédiaires, le porte-mire doit avoir l'attention d'en poser le pied, lorsque le niveleur donne le coup arrière, précisément à la même place où était la mire pendant qu'il donnait le coup avant.

Il faut faire placer la mire sur tous les points où le terrain change sensiblement de pente, afin d'avoir

à la fois la pente générale, et un profil exact du terrain qu'on nivelle.

Quelquefois on fait placer la mire sur un tronc d'arbre, sur la tête d'une borne, ou sur un autre repère quelconque; M. Bussou conseille de faire alors un trait à la craie, autour du pied de la mire. On prendra surtout cette précaution, ou toute autre plus durable encore, quand on suspendra son opération, pour ne la continuer que le lendemain, ou quelques jours après.

Dans le cours d'un Nivellement, on ne saurait trop s'assurer si la cote indiquée par la mire, et celle qu'on a écrite sont semblables : voici comment il faudra se conduire.

Lorsque après avoir bornoyé, et fait au porte-mire différens signes auxquels il aura obéi, on sera certain que le milieu du voyant de la mire, se trouve dans la direction du rayon visuel, qui est situé dans le plan des deux surfaces de niveau; on fera au porte-mire le signe convenu, pour lui indiquer que le voyant est bien placé; il le fixera aussitôt, et on écrira au crayon, la cote marquée par la mire.

Lorsque le porte-mire changera de position, on se fera présenter la mire, et on examinera avec attention si la cote qu'il a donnée, et celle que l'on a écrite, sont conformes à celle qui est indiquée par la mire. Ces trois conditions étant remplies, on sera certain de la justesse de la cote. On continuera de même à chaque station, et l'on se souviendra qu'il ne faut négliger aucun moyen de s'assurer si la cote qu'on a écrite, est conforme à celle indiquée par le rayon visuel du niveleur. *Il est si aisé de se tromper, soit en lisant la cote sur la mire, soit en la donnant au niveleur, soit en l'écrivant*, que ces

trois opérations si simples en elles-mêmes, sont une source féconde d'erreurs.

Il serait encore à propos que l'un des porte-chaînes, ou tous les deux ensemble, lussent en même temps que le porte-mire, la cote indiquée par la mire.

L'espèce de manœuvre que nous venons d'enseigner d'après M. Busson, ne suffit pas encore, pour être sûr qu'un Nivellement soit bien fait. On nivelle toujours un terrain au moins deux fois, afin de connaître avec certitude, si l'on peut compter sur sa première opération. On compare le résultat du second Nivellement avec celui du premier; si ces deux résultats ne diffèrent que de 10 à 12 centimètres, sur un miriamètre de longueur, il est fort probable qu'on a bien opéré. On peut encore commencer le second Nivellement au point où le premier a été fini, et revenir sur ses pas. On écrira les cotes de l'un à la suite de celles de l'autre, comme si les deux n'en faisaient qu'un. Ensuite, on additionnera tous les coups arrière, on en fera autant de tous les coups avant; et plus ces deux sommes approcheront de l'égalité, plus on aura opéré avec justesse. En effet, niveler de A en B, et reniveler de B en A, en passant par les mêmes points du terrain, c'est avoir fait deux Nivellemens tels que les coups arrière du premier, sont égaux aux coups avant du second, et que réciproquement, les coups avant du premier, sont égaux aux coups arrière du second. Il est donc évident que les sommes des coups avant et des coups arrière, des deux Nivellemens, doivent être égales entre elles, si l'on a bien opéré. On sent bien qu'il est nécessaire d'obtenir la vérification énoncée, lorsque le terrain aura peu de pente, ou que l'ouvrage qui donne lieu au Nivellement, exi-

gera une plus grande précision. Par exemple, un projet de canal, une conduite d'eau, demandent plus d'exactitude dans le Nivellement, qu'un projet de route; et l'on aura d'autant plus de besoin d'un résultat voisin de la vérité, que la pente du point de départ, au point d'arrivée, sera plus petite.

Il est un moyen presque infaillible, pour connaître exactement la pente d'un terrain. Au bout de chaque station, on fait enfoncer à fleur de terre, de longs piquets, dont la tête est destinée à recevoir le pied de la mire; de sorte qu'en recommençant l'opération, l'on puisse vérifier non-seulement le résultat général du Nivellement, mais encore celui de chaque Nivellement simple.

Lorsqu'un Nivellement a pour objet quelque ouvrage important, et qui demande une grande précision, comme par exemple, un canal, si le projet ne doit pas s'exécuter de suite, on plantera des bornes de distance en distance, sur la direction de l'ouvrage, et l'on aura soin de graver sur la tête de chacune, la hauteur du déblai, ou du remblai à faire, dans son emplacement.

S'il vente avec violence, que l'on soit pressé de faire un Nivellement, et qu'on n'ait qu'un niveau d'eau pour opérer, il faut avoir recours à un paravent que l'on fait soutenir par deux hommes pour garantir le niveau.

Lorsqu'on est obligé de se servir du niveau d'eau pendant l'hiver, et qu'il fait grand froid, on met de l'eau-de-vie dans l'instrument, pour empêcher l'eau de geler.

A la suite de ces observations, qui pour la plupart peuvent s'appliquer à tous les Nivellemens, à tel instrument que ce soit, M. Busson fait plusieurs

remarques dont je vais pareillement rapporter les principales.

Il a été recommandé de placer le niveau, sur un point situé au milieu de la ligne de jonction des deux points qui font l'objet de chaque Nivellement simple; cette condition n'est plus aussi rigoureuse quand on se sert du niveau d'eau, parce que la différence du niveau est une quantité si petite, qu'on peut la négliger sans erreur sensible.

Pour opérer avec le niveau d'eau de M. Busson, on commence par établir le pied de l'instrument, et l'on place dessus la partie en fer-blanc, puis on mouille la garniture de l'un des tubes, que l'on adapte à l'une des extrémités du niveau; on mouille ensuite la garniture de l'autre tube, et on l'adapte de même à l'autre extrémité du niveau, qu'on remplit alors, d'une quantité d'eau convenable.

Avec un peu d'habitude, on garnit facilement les verres de filasse, on les adapte au niveau, et on les en ôte sans les casser. M. Busson s'est servi plus de deux ans, des deux mêmes tubes, et cependant il les a employés dans un grand nombre de Nivellemens, et fait transporter tantôt à pied, tantôt à cheval, et tantôt en voiture, à des distances souvent considérables.

On ferait bien d'avoir un étui qui pût contenir trois verres; deux de ces tubes seraient munis de leur garniture, et le troisième serait rempli de filasse, pour servir en cas de besoin.

Il faut avoir soin, avant d'adapter les tubes aux niveaux, d'en faire frotter l'intérieur avec des orties, par un des porte-chaînes, afin de rendre régulier l'onglet qui se forme à la surface de l'eau, tout autour de chaque verre.

Dans le niveau d'eau ordinaire, dont les verres

sont mastiqués aux extrémités de l'instrument, on n'ose rincer les verres, de crainte de briser le mastic, ce qui pourrait faire répandre l'eau contenue dans le niveau. Au reste, il n'est pas rare que le mastic, ou les verres, se brisent dans le transport de l'instrument; d'ailleurs, si on laisse son niveau dans une maison quelconque, il arrive souvent qu'en voulant l'examiner, les domestiques brisent le mastic, et même les verres.

Si, de retour chez soi, l'on place son niveau le long d'un mur, dans la même position que pour le Nivellement, l'eau restée dans les angles forme de la rouille, qui ne tarde pas à le percer. Si on le place sens dessus dessous, les gouttes d'eau qui en sortent imprégnées de rouille, ternissent l'éclat des tubes.

Le niveau décrit par M. Busson, n'est sujet à aucun de ces inconvéniens.

On le fait transporter par un homme à pied, ou à cheval, ou bien on l'attache à une voiture par le moyen de trois courroies, sans craindre que les verres ne se brisent, puisqu'ils sont dans la poche ou dans un étui.

On rince ces tubes, tant qu'on veut, et si l'on s'aperçoit que l'eau se répande, lorsqu'ils sont adaptés à l'instrument, on y a bientôt remédié avec un peu de filasse, qu'on ajoute à la garniture des tubes.

Lorsqu'on n'opère plus, on attache l'instrument sens dessus dessous le long d'un mur, afin que le peu d'eau qui reste dedans puisse facilement s'égoutter.

On pourrait adapter ces tubes à des niveaux en cuivre, par le moyen de vis et d'écroux, ou de deux cônes tronqués qu'on introduirait l'un dans

l'autre, et entre lesquels le frottement ne laisserait passer aucune goutte d'eau.

Du Niveau à bulle d'air et à lunette, de Chézi.

(54.) Le Niveau à bulle d'air, que M. Chézi a perfectionné d'une manière si ingénieuse, a obtenu, par son exactitude et sa simplicité, la prééminence sur les autres niveaux antérieurement connus, et il est presque le seul en usage parmi les Ingénieurs des Ponts et Chaussées. Je me dispenserai par cette raison de parler du Niveau d'eau à réflexion, de Mariotte, et d'autres dont on trouvera la description dans l'*Encyclopédie méthodique*, et dans le *Traité de Nivellement*, de M. l'Espinasse. L'estimable auteur du *Nouvel Essai sur le Nivellement*, dont j'ai parlé plus d'une fois, a aussi décrit dans cet ouvrage deux niveaux à bulle d'air et à lunettes, de son invention, qui sont d'une grande exactitude, et d'un prix très-modéré; j'en parlerai plus bas.

Les principales pièces composant le Niveau de Chézy sont: un petit niveau à bulle d'air N (*fig.* 30), suspendu à une lunette HK, achromatique, et à double tirage; la règle AB, aux extrémités de laquelle s'élèvent deux supports A *e*, B *g*, traversés par la lunette; la tige TC, surmontée de deux joues, entre lesquelles peut se mouvoir, autour du centre C, l'arc où se réunissent les branches qui supportent toute la partie supérieure de l'instrument; enfin le plateau *m p*, attaché au trépied de l'instrument, et au milieu duquel s'implante la tige.

Voici maintenant la description détaillée de chacune des pièces que je viens de nommer : je la donne en faveur de ceux qui n'ont jamais fait usage du niveau actuel.

Du petit Niveau à bulle d'air.

(55.) Le niveau à bulle d'air a été décrit (17). M. Chézy a remarqué le premier, que l'instrument avait beaucoup de sensibilité, quand l'intérieur du tube était travaillé de manière que le dedans de sa section longitudinale, fût un arc de cercle d'une légère courbure. Cette propriété est une suite de la remarque faite (51). Ce serait toutefois un grand inconvénient, que la bulle fût trop inconstante. On juge qu'elle occupe exactement le milieu du tube, à l'aide de divisions tracées arbitrairement, mais symétriquement, sur les bords des deux ouvertures de l'étui, ou sur le tube même.

Le niveau adapté à la lunette, est assujetti à tourner autour de la charnière *d*, et on peut l'approcher ou l'éloigner de cette lunette, en faisant tourner dans le sens convenable, le piton à vis *c*. On se sert pour cet effet d'un tournevis.

De la Lunette.

Elle est achromatique, c'est-à-dire, qu'elle fait voir les objets nettement terminés, et sans iris, ou sans aucune frange de couleurs empruntées. L'objectif est le verre qui doit le premier, être traversé par les rayons formant l'image de l'objet; et l'oculaire est le verre à travers lequel on regarde immédiatement. On appelle champ de la lunette, tout l'espace circulaire que l'œil y découvre.

L'endroit intérieur de la lunette, où viennent se peindre avec beaucoup de netteté les objets extérieurs, se nomme le foyer. Pour le déterminer par expérience, on ôte l'oculaire, et on place dans la lu-

nette un verre dépoli, de manière qu'en regardant un objet extérieur à travers le tube, sa petite image y soit correcte, et alors c'est là le foyer.

L'objectif K, est formé de deux verres de différente espèce; le premier, de verre ordinaire ou *crown-glass*, est convexe et placé du côté de l'objet; le second, de cristal d'Angleterre ou *flint-glass*, est concave et placé du côté de l'oculaire, de manière à emboîter la convexité du premier. Les lunettes les plus parfaites, sont celles dont l'objectif est composé d'un verre bi-concave de flint-glass, interposé entre deux verres bi-convexes de crown-glass. (*Traité de Phys. de Haüy*, page 391, t. II.)

L'oculaire H, est formé de deux lentilles, ou verres convexes; l'un est placé tout près de l'ouverture de l'oculaire, et l'autre en est à peu de distance. Ces deux verres sont entraînés par un petit tuyau additionnel, glissant dans un autre petit tuyau mobile, logé dans le canon de la lunette.

Le réticule R (*fig.* 30 *bis*), est un petit cercle de métal, dont deux diamètres rectangulaires sont représentés par deux fils de soie. Ce réticule est construit de telle sorte, que le point R d'intersection de ces fils peut changer de position, dans le sens perpendiculaire à l'axe de la lunette, à l'aide du tournevis. Le réticule lui-même, peut avancer ou reculer suffisamment dans le sens de cet axe, pour se remettre au foyer de l'objectif, dans le cas où il en serait éloigné.

Quand on veut observer un objet avec la lunette, on tire d'abord le petit tube antérieur HX, jusqu'à ce qu'on aperçoive bien les fils du réticule; on tire ensuite le second tube, de manière à découvrir nettement l'objet où l'on vise.

Dans les lunettes à un seul tirage, et à deux ver-

res convexes seulement, les objets sont vus renversés, et plus clairement que dans celles où ils sont vus droits, à l'aide d'un plus grand nombre de lentilles. Ce renversement de l'image a peu d'inconvénient, parce qu'on est bientôt accoutumé à discerner les objets dans cette situation. L'objectif de ces lunettes est ordinairement adapté à une petite pièce cylindrique, mobile, enveloppant l'extrémité du canon, tandis que le réticule est fixe dans le sens de l'axe optique. Pour faire usage de cette lunette, on tire le tube qui porte l'oculaire, jusqu'à ce que l'image de l'objet soit bien distincte. Si la chose n'a pas lieu de même pour les fils, ou bien s'ils présentent une *parallaxe*, c'est-à-dire, si leur image paraît éprouver du dérangement à l'égard de l'objet, lorsque l'œil regarde par différens points de l'ouverture de l'oculaire; alors on fait mouvoir l'objectif comme il convient, pour en ramener le foyer à l'endroit même des fils.

Des Supports.

(56.) Les supports montans A*e*, B*f*, ont les extrémités de leurs branches coupées circulairement, ou en forme de collet, pour recevoir le canon de la lunette. Il est essentiel que ces branches et ce canon soient parfaitement calibrés, afin qu'en faisant tourner la lunette sur elle-même, son axe reste toujours horizontal, s'il a d'abord été mis dans cette position.

Un collier ou demi-anneau *n g* (*fig.* 31), est assemblé à charnière à chacun des supports, et embrasse la lunette pour la retenir dans les collets. On l'attache à l'une des branches du support, ou on l'en détache à volonté, au moyen de la vis *g*.

La lunette, le niveau, les supports, et la règle, forment un système assujetti à faire bascule, ou à tourner autour d'un axe horizontal, à l'aide de la vis sans fin S (*fig.* 30), dont les filets s'engagent dans les dents du râteau circulaire LL'.

De la Tige.

(57.) Le bout T de la tige, traverse le centre P (*fig.* 32) d'un plateau fixé par trois vis sur le trépied, en sorte qu'on peut faire tourner l'instrument avec la main, autour de la verticale, pour lui donner ce qu'on appèlle le *mouvement prompt;* mais on détruit ce mouvement en serrant la vis de pression V, qui pousse un petit collier Z contre la tige, et la rend immobile. L'instrument acquiert un mouvement doux et lent, en faisant tourner la vis tangente *y* (*fig.* 30), qui engrène avec les dents d'une espèce de bourlet *q r*, creusé en gorge.

Vérification et rectification du Niveau à bulle d'air et à lunette, décrit précédemment.

(58) La vérification du niveau à bulle d'air, dont nous venons de donner la description, consiste, 1°. à savoir si l'axe optique passant par le centre de l'oculaire, et l'intersection des fils du réticule, coïncide exactement avec l'axe du cylindre de la lunette; 2°. à s'assurer si cet axe optique est rigoureusement horizontal, et parallèle à la ligne du niveau du tube à bulle d'air.

Première partie de la vérification.

L'instrument étant établi d'une manière stable sur son trépied, et la vis X' (*fig.* 30) du réticule,

étant supposée au-dessus de la lunette, on visera une ligne horizontale quelconque, éloignée de 500,m plus ou moins, et de manière qu'elle soit couverte par le fil horizontal du réticule. Ensuite on fera faire sur place, et dans ses colliers, une demi-révolution à la lunette; par ce mouvement, la vis X', qui était en dessus se trouvera en dessous. Alors si, en mirant la même ligne, le fil horizontal ne la couvre pas, c'est une preuve qu'il est trop haut ou trop bas d'une certaine quantité. Pour corriger ce défaut, à l'aide d'un tournevis on tournera la vis de rappel X', de manière à faire parcourir la moitié de l'espace compris entre la ligne horizontale visée, et la seconde ligne de mire, au fil horizontal; l'autre moitié sera parcourue au moyen de tout l'instrument, en faisant tourner convenablement la vis sans fin S. Alors on ramènera la vis du réticule en dessus de la lunette, et l'on répétera la correction que l'on vient d'indiquer, jusqu'à ce que le fil horizontal cache la ligne de mire, avant et après le retournement de la lunette. Dans cette position, le fil déterminera un plan, passant par tous les diamètres horizontaux du canon de la lunette.

Si le fil vertical se meut indépendamment de l'autre fil, à l'aide de la vis X, on le rectifiera de la même manière que le fil horizontal, c'est-à-dire, qu'après l'avoir fait coïncider d'abord avec une ligne verticale, si la vis se trouve, par exemple, à la droite du niveleur, on l'amènera à la gauche en faisant faire une demi-révolution à la lunette. Si dans cette nouvelle position il y a déviation, comme cela peut arriver, on fera la correction moitié avec la vis de rappel X, moitié avec la vis tangente y. On répétera cette opération, jusqu'à ce que la coïncidence de la ligne verticale, et du fil, soit parfaite.

Alors ce fil déterminera un plan, passant par tous les diamètres verticaux du canon de la lunette; par conséquent l'axe optique ou le rayon visuel passant par le centre de l'oculaire, et l'intersection des fils du réticule, se confondra avec l'axe même de la lunette.

Quelque soin que l'on prenne, pour rectifier les fils de cette manière, il ne sera pas rare d'observer encore une légère déviation de l'axe optique, quand, après avoir visé un point à l'intersection des fils, on aura fait tourner la lunette sur ses supports. Cela tient à quelques défauts inévitables de l'instrument, au petit dérangement que la lunette éprouve lorsqu'on la touche, et à ce que les lignes de visée, ne peuvent être amenées exactement au milieu de l'épaisseur des fils. Ce qu'il y a de mieux à faire est de mettre toujours, en nivelant, les fils dans la position qui établit la coïncidence requise.

Deuxième partie de la vérification.

Il reste à vérifier si l'axe optique de la lunette est horizontal, lorsque la bulle d'air est au milieu du niveau; à cet effet, on mirera un point après avoir amené la bulle au milieu du tube de verre, au moyen de la vis S du rateau. Ensuite on retournera l'instrument bout pour bout, en lui faisant faire une demi-révolution, et on ouvrira les deux colliers pour ôter la lunette de dessus ses supports : on la retournera elle-même bout pour bout, afin de ramener l'oculaire à soi, et on la replacera sur l'instrument. Cette disposition étant faite, on rappellera, s'il est nécessaire, la bulle au milieu du tube, au moyen de la vis S; puis on visera vers le point de mire. Si le rayon visuel de l'observateur aboutit

à ce point, en même temps que la bulle occupe le milieu du niveau, c'est une preuve que l'axe optique de la lunette est horizontal; dans ce cas, l'instrument est juste et n'a pas besoin d'autre vérification. Si au contraire le rayon visuel passe au-dessus ou au-dessous du point de mire, on approchera ou l'on éloignera doucement de la lunette l'extrémité *c* du niveau, à l'aide de la vis à piton *c*; et après avoir rappelé la bulle au milieu du tube, au moyen de la vis S, on remarquera à quel point aboutit l'axe optique, afin de le prendre pour nouveau point de mire; ensuite on fera faire une demi-révolution à l'instrument, on retournera la lunette bout pour bout, et l'on observera si l'axe optique rencontre ce même point, comme avant le retournement; faute de quoi l'on répétera la correction précédente, jusqu'à ce qu'enfin l'axe optique aboutisse au même point, dans les deux positions de l'instrument. Le lecteur intelligent apercevra sans peine la raison de ce procédé.

L'instrument étant rectifié, on n'a autre chose à faire pour s'en servir, que de disposer le mieux possible le plateau *m p* horizontalement, et de rappeler la bulle au milieu du tube par le moyen de la vis S; pour lors l'axe optique est horizontal. Mais la question est de savoir si cette condition remplie, les positions de cet axe obtenues en faisant faire successivement à l'instrument des fractions de tour d'horizon, sont toutes dans un même plan horizontal? Cela aurait évidemment lieu si le plateau était parfaitement horizontal, et si l'axe optique de la lunette lui était en même temps parallèle, cas dans lequel la bulle serait stationnaire au milieu du tube; mais il ne paraît pas possible d'atteindre jamais ce degré de perfection. M. Busson,

dans son intéressant ouvrage, s'est proposé la question que je viens d'établir, et il est le premier qui ait publié la remarque curieuse : *que si le plateau est incliné à l'horizon, les différens axes optiques dont il s'agit, ne sont pas tous dans un même plan horizontal; que leur abaissement ou leur haussement, est en raison composée de l'angle que le plateau fait avec l'horizon, et de la distance du centre de rotation à chacun de ces axes optiques.* M. Puissant a donné la démonstration de ce théorème dans son *Traité de Topographie*, page 230.

CHAPITRE IV.

Description des Niveaux de pente ou *Clitomètres.*

Du Clitomètre à perpendicule.

(59.) On appelle *Niveaux de pente*, divers instrumens qui servent à déterminer immédiatement la pente d'une ligne, ou d'une surface. M. Chézy a remarqué que les mots *niveau*, et *pente*, ne s'accordent guère ensemble, et que cette dénomination pourrait être remplacée par celle de *Clitomètre.*

Le plus simple de tous les niveaux de pente, est formé par une équerre de bois ABD (*fig.* 33), qui a 61 centimètres de A en I, plus ou moins, et autant de I en G, ainsi que de I en H. La ligne AI est tracée perpendiculairement à la droite GH, parallèle à la ligne BEFD. On décrit du point C comme centre un arc *eaf*, sur une bande circulaire de métal incrustée dans le bois. On donne à cet arc cinq degrés de *a* en *e*, et autant de *a* en *f*. Ces degrés étant tra-

cés, fournissent dix parties égales, dont chacune doit être subdivisée en douze parties aussi égales, marquées de dix en dix (*fig.* 34) 0, 10, 20, 30, 40, 50, etc., jusqu'à 120 en allant de droite à gauche, ou suivant *fe*, chacune de ces subdivisions vaut cinq minutes.

Le nombre 60 répond par conséquent au milieu *a*. Si donc on place cet instrument sur une règle ou sur un plan, et que le perpendicule batte sur la division 60, c'est une preuve que le plan est horizontal.

Si le fil à plomb est plus près du point B (*fig.* 35) que du point D, on en conclut que le point B est plus bas que le point D. Ensorte que si l'on dispose l'équerre, de manière que les divisions soient à la droite de l'observateur placé près de la division 120, et que le fil à plomb batte sur une division plus grande que 60, sur 80, par exemple, c'est une preuve que la règle fait au-dessus de l'horizon, un angle égal à $80-60=20$ divisions $= 5 \times 20$ minutes $= 100' = 1^\circ 40'$.

Si au contraire, le niveau étant toujours placé de la même manière, par rapport à l'observateur, le perpendicule bat sur une division plus petite que 60, sur 45, par exemple, on en conclut que la règle fait au-dessous de l'horizon, un angle égal à $60-45$ divisions $=15$ divisions $= 15 \times 5$ minutes $= 75' = 1^\circ 15'$.

Il convient de remarquer que si l'on avait mis le zéro au point milieu, et écrit les nombres 10, 20, 30, etc., à la droite et à la gauche, il serait résulté de là, que lorsque la direction de la règle aurait fait un angle au-dessus de l'horizon, l'observateur aurait dû, pour indiquer cette circonstance, écrire sur son registre, le signe + avant le nombre de degrés de cet angle; et le signe — si cette direction eût fait au contraire, un angle au-dessous de l'horizon. Sans

cette convention ou toute autre, la valeur seule de l'angle mesuré, ne pourrait pas donner l'idée précise de la direction mentionnée.

D'après la graduation adoptée (*fig.* 34), on n'a besoin de mettre aucun signe, avant le nombre de degrés donné par le perpendicule; si ce nombre surpasse 60, on est certain que l'angle est au-dessus de l'horizon, et qu'il est au-dessous, si ce nombre est moindre que 60.

En adaptant des pinnules à cet instrument, comme on en voit à l'équerre BAD (*fig.* 36), ainsi qu'une tige E, terminée par un genou, on pourra placer alors ce niveau sur un trépied ordinaire, et viser à travers les pinnules au voyant d'une mire, ou au sommet d'une montagne, d'un clocher, ou de tout autre objet, et l'on déterminera ainsi l'angle que fait avec l'horizon, le rayon visuel suivant lequel on a miré; cet angle et la distance horizontale de l'œil à l'objet pointé, suffisent pour calculer leur différence de niveau.

(60.) Supposons, par exemple, que le rayon visuel parti de l'œil B, arrive au point M (*fig.* 36), et que le fil à plomb batte alors sur la division 80, cela étant, la ligne AI fera avec la verticale AP, un angle de 1° 40′, et par suite la droite BM fera aussi avec l'horizontale BL, ce même angle de 1° 40′ (22); si donc on veut déterminer la différence de niveau qui existe entre le point B et le point M, on concevra le triangle BML formé par le rayon visuel BM, l'horizontale BL de B, et la verticale ML de M. Ce triangle peut être considéré comme rectangle en L; ensorte que si l'on connaît la distance horizontale de B en M, c'est-à-dire, BL = 500,^{m} actuellement, on pourra calculer la différence de niveau cherchée LM, par la proportion

$$R : \text{tang. } MBL :: BL : LM = \frac{BL \times \text{tang. } (MBL)}{R}$$

$$\text{Ou } R : \text{tang. } 1^\circ 40' :: 500^m : LM = \frac{500 \cdot \text{tang. } (1^\circ 40')}{R}$$

Et, en effectuant le calcul, log. $500^m = 2{,}6989700$
Log. tang. $1^\circ 40' = 8{,}4638486$

Somme 11,1628186
— Log. R = 10,0000000

Différence ou log. LM = 1,1628186

Ainsi LM = 14,^{m} 548; retranchant de cette valeur la correction 0,^{m} 016, que l'on trouve au nombre 500 dans la quatrième colonne de la table (11), afin de tenir compte du haussement du niveau apparent sur le niveau vrai, et de l'abaissement causé par la réfraction, on trouvera que le point M est plus élevé que le point B, de 14,^{m} 532.

(61.) Supposons pour second exemple, que le rayon visuel BM, fasse au-dessous de l'horizon un angle LBM = $1^\circ 15'$: on aura dans le triangle rectangle LBM, la proportion

$$R : \text{tang. } LBM :: BL : LM = \frac{BL \text{ tang. } (LBM)}{R}$$

ou si BL égale toujours 500^m

$$R : \text{tang. } 1^\circ 15' :: 500^m : LM = \frac{500^m \text{ tang. } (1^\circ 15')}{R}$$

En en effectuant, log. $500^m = 2{,}6989700$
Log. tangente $1^\circ 15' = 8{,}3388563$

Somme 11,0378263
— Log. R = 10,0000000

Différence ou log. LM = 1,0378263

Ainsi, LM = 10,^{m} 910; retranchant de ce nombre la correction 0,^{m}016, comme dans l'article pré-

cédent, il restera 10,^{m}894, quantité dont le point B est plus élevé que le point M.

(62.) Si l'on vouloit se dispenser d'avoir recours aux logarithmes, au lieu de décrire du point C comme centre, et d'un rayon C*a* (*fig.* 33), un arc *e a f*, on tracerait une droite BD perpendiculaire à la droite AI (*fig.* 36). Supposons que du point de suspension C au point I, il y ait 5 décimètres, et que BD soit double de CI, ou que CI = IB = ID; supposons de plus que CI ait été divisé en 1000 parties égales; chacune d'elles sera d'un demi-millimètre, puisque CI = 5 décimètres = 500 millimètres, et BD sera divisé en 2000 parties égales, à compter du point D, où l'on écrira zéro. Le nombre 1000 répondra au point I milieu de BD.

Si au travers des pinnules, on dirige un rayon visuel sur le sommet d'une montagne, ou sur tout autre objet plus élevé ou plus bas que le point B, le fil-à-plomb CP passera d'un côté ou de l'autre du point I; s'il s'est écarté du côté de B d'une quantité IN, il formera le triangle rectangle CIN, semblable au triangle rectangle BLM, et l'on aura la proportion

$$\text{CI} : \text{IN} :: \text{BL} : \text{LM} = \frac{\text{IN.BI}}{\text{CI}}$$

on pourra donc calculer de combien le point M est plus élevé que le point B, après que l'on aura mesuré BL, avec une chaîne ou de toute autre manière.

Supposons qu'on ait trouvé BL de 675 mètres, par exemple, et reconnu que le perpendicule CP s'est écarté du point I de 380 parties, la proportion ci-dessus deviendra

$$1000 : 380 :: 675^{m} : \text{LM} = \frac{380 \times 675^{m}}{1000}$$

Ou $LM = \frac{256900^m}{1000} = 256,^m9$

D'où l'on voit que pour chaque opération, il suffira de multiplier la distance BL par le nombre de parties contenues dans IN, et de diviser le produit par 1000, valeur de CI; ou, ce qui revient au même, de séparer, dans le produit de la multiplication trois chiffres, qu'on mettra au rang des décimales.

Si l'on veut avoir égard à l'abaissement occasionné par la réfraction, on fera la correction indiquée dans la table (11).

Au lieu d'adapter des pinnules saillantes à cet instrument, on pourrait incruster dans l'intérieur du linteau BD, de petites plaques de cuivre à charnières, placées en B et en D; dans celle en B, on pratiquerait un petit trou, et dans celle en D, une ouverture plus grande, traversée, perpendiculairement aux faces latérales de l'équerre ABD, par un petit filet délié.

Du Niveau de pente de Chézy.

(63.) Cet instrument, tel que M. Chézy l'a fait construire, est composé d'une règle AB (*fig.* 37) d'un pied de long, sur laquelle est posé à demeure un niveau à bulle d'air nn'; aux extrémités A, B, s'élèvent perpendiculairement deux pinnules, l'une AF de 48 lignes de hauteur, et l'autre BE de 21 lignes. Ce système est lié à une règle CD par une charnière C, à l'aide de laquelle il est rendu mobile. Vers l'extrémité D de cette règle est un écrou V, qui, selon qu'on le fait tourner dans un sens ou dans un autre, comprime ou laisse détendre le ressort à boudin H, et oblige ainsi la règle AB à

se rapprocher ou à s'éloigner de la règle CD. Au milieu de CD est adaptée une tige ghf, terminée par une boule, qui s'emboîte dans un genou composé de deux coquilles échancrées. En serrant la vis U; les deux coquilles s'appliquent fortement sur la boule, et alors l'instrument ne peut tourner que sur le plan fg, ou autour de la tige du trépied que recèle la douille S. Ce mécanisme est le même que celui des graphomètres, et se conçoit à la seule vue de l'instrument.

Entre les montans de la grande pinnule AF, se trouve un châssis R′S (*fig.* 38 et 39), que l'on rend mobile ou fixe selon le besoin. On le fait monter ou descendre, à l'aide du bouton p, lorsque les pinces K sont desserrées au moyen de la vis P; mais si l'on voulait seulement le faire mouvoir insensiblement, on serrerait les pinces K avec la même vis P, et l'on tournerait dans le sens convenable la vis M. D'un côté de ce châssis sont deux soies ou crins à angles droits, et de l'autre côté, à même hauteur que la soie horizontale, est un petit trou conique L évasé intérieurement, et par lequel le niveleur regarde quand il opère.

La petite pinnule BE (*fig.* 35 et 37) a aussi son châssis garni de deux fils en croix, et d'un petit trou L′ placé en face de l'intersection des fils de la grande pinnule. Ainsi quand on observe, la petite ouverture dont il s'agit, l'intersection des fils de la grande pinnule, et le point de mire, doivent être sur une même droite. On fait monter ou descendre le châssis de la petite pinnule, en tournant la vis de rappel E dans un sens convenable, à l'aide d'un tournevis.

Division des montans de la grande pinnule.

(64.) Il convient maintenant d'enseigner la manière de diviser les montans de la grande pinuule, pour obtenir des divisions relatives aux pentes par pied, ou aux pentes par mètre. Nous observerons à cet égard, que puisque la règle AB a exactement un pied de long depuis la face extérieure de la petite pinnule jusqu'à la face extérieure de la grande, il ne s'agit que de prendre, à partir de N', (*fig.* 58), des espaces de deux en deux lignes. Ces espaces, comme on le voit, sont partagés en demi-lignes, et les droites de division N', M', O'... sont numérotées 0, 1, 2, 3, 4, 5...., pour une raison que nous expliquerons bientôt.

Quoique les plus petites parties du montant XT ne soient que des demi-lignes, on peut estimer exactement des intervalles moindres, à l'aide d'un *vernier* ou *nonius* coutruit sur le châssis de la manière suivante : on y trace pour cela d'autres divisions égales entre elles, et telles que douze équivalent ensemble, à onze des plus petites parties du montant; par ce moyen chaque division du vernier représente $\frac{11}{24}$ de ligne. La première droite R de division, marquée 0, se nomme *ligne de foi*. Lorsqu'elle répond exactement à celle qui est aussi marquée 0 sur le montant, il faut qu'il existe un petit intervalle entre le bord inférieur du châssis et la règle AB; car autrement, il serait possible que les variations des longueurs de RR' et de XN', dues à celle de la température, ne fussent pas exactement les mêmes, et il arriverait peut-être, qu'on ne pourrait pas quelquefois, mettre les lignes N'0, R'0, à la suite l'une de l'autre. Il est évident qu'en fai-

sant tomber successivement chaque ligne de division du vernier, sur une ligne de division du montant, la ligne de foi oR, à compter du point de départ, parcourra $\frac{1}{12}$, $\frac{2}{12}$, $\frac{3}{12}$ .... $\frac{12}{12}$ du plus petit espace du montant.

Supposons maintenant, que le côté CM du triangle rectangle CMN (*fig.* 40) soit horizontal; dans ce cas, si CM est d'une toise, et MN d'un pouce, la pente de la droite indéfinie CB sera d'un pouce par toise, et si C*m* est d'un pied, *mn* sera la pente par pied de cette même droite; or, à cause des triangles semblables CMN, C*mn*, on a

$$CM : MN :: Cm : mn,$$

ou $1^{tois} = 72^{po} : 1^{po} :: 1^{po} = 144^{l} : x^{l};$

donc $x^{l} = 2$ lignes; voilà pourquoi l'intervalle N′ M′ (*fig.* 38), qui comprend 2 lignes, n'est marqué que du nombre 1. Ainsi l'intervalle de 4 lignes numéroté 2, indique 2 pouces de pente par toise; l'intervalle de 6 lignes, 3 pouces de pente, etc. Il suit de là que le plus petit espace du montant donne le quart d'un pouce, ou 3 lignes de pente par toise. Quant aux pentes par toise, qui ne sont pas des multiples exacts de 3 lignes, on les estime à l'aide du vernier; en effet, lorsqu'il y a coïncidence entre sa première ligne de division, et l'une des lignes du montant, cette coïncidence indique $\frac{3}{12}$ ou $\frac{1}{4}$ de ligne de pente par toise. Si la deuxième ligne de division du vernier coïncidait, elle indiquerait $\frac{6}{12}$ ou $\frac{1}{2}$ de ligne de pente par toise, et ainsi de suite. Il faut donc marquer d'une unité la quatrième ligne de division du vernier, de deux unités la huitième, et de trois la douzième, afin que ces mêmes lignes de division annoncent respectivement par leur coïncidence, 1, 2, ou 3 lignes de pente par toise.

Nous venons de supposer que les divisions de l'instrument sont relatives aux anciennes mesures ; mais il peut être gradué de manière à donner en outre la pente par mètre. Veut-on, par exemple, marquer sur le montant X′ T′, 5 millimètres de pente par mètre, la règle A B ayant toujours un pied de long? on fera cette proportion :

$$1^{m} :: 0,^{m}005 :: AB = 1^{p} = 0,^{m}32484 : x = 0,^{m}0016242.$$

Telle est la grandeur de chacune des plus petites divisions du montant X′ T′. Comme il ne serait pas exact de commencer par tracer immédiatement ces divisions, on multipliera la valeur de x par 64, et le produit $0,^{m}1039488$ sera la valeur absolue n' T′. Ayant fixé cette hauteur, on la partagera d'abord en seize parties égales, et l'on subdivisera chacune de ces parties en quatre autres; alors ces quatre dernières, prises ensemble, répondront à une pente de $4 \times 0,^{m}005 = 0,^{m}02$ centimètres par mètre. C'est ce que marque le chiffre 2. Par la même raison, 8 espaces répondront à 4 centimètres de pente par mètre; c'est ce qu'indique le chiffre 4. Il en est de même des autres numéros. Quant au vernier, on voit que, puisque ses cinq divisions en embrassent quatre du montant, chacune des premières comprend un espace relatif à $\frac{0,^{m}02}{5} = 4$ millimètres de pente par mètre, ainsi la différence d'une division du vernier à une division de la pinnule, répond à un millimètre de pente par mètre.

A présent que le système métrique est en vigueur, il conviendra, dans la construction d'un niveau de pente, de donner à la règle A B une longueur de trois ou quatre décimètres; plus cette règle sera longue, plus l'instrument sera juste ; alors les grandes divisions de la pinnule étant formées

de parties exactes du mètre, se traceront plus facilement. Pour les numéroter on aura égard aux considérations précédentes. Si, par exemple, AB (*fig.* 37) était de trois décimètres, il faudrait, pour que les plus grandes divisions du montant X' T' (*fig.* 38) donnassent deux centimètres de pente par mètre, que l'espace *n' m'* fût de six millimètres; ainsi dans ce cas l'on écrirait encore 2 sur la ligne de division *m'*, et le reste de la construction s'achèverait comme on le voit par l'inspection de la figure.

Vérification et rectification du Niveau de pente de Chézy.

(65.) Lorsque l'instrument aura été placé sur son trépied, et que la tige sera verticale, on fera coïncider la ligne o du vernier, avec la ligne o de la grande pinnule; ensuite on amènera la bulle d'air au milieu du niveau *nn'* (*fig.* 37), au moyen de l'écrou V, et l'on fixera un point dans la direction du trou du châssis de la grande pinnule et de la croix des fils de la petite. Si, après qu'on aura retourné l'instrument bout pour bout, et rappelé la bulle au milieu du tube, le rayon visuel passant par le trou du châssis de la petite pinnule, et par l'intersection des fils de la grande, aboutit au même point de mire qu'avant le retournement, ce rayon visuel sera horizontal, et l'instrument sera juste. Mais si ce même rayon aboutit à un autre point, il faudra le ramener vers le premier, ou procéder à la correction du Niveau, moitié en inclinant la tige *g h f*, moitié en élevant ou en abaissant le châssis de la petite pinnule, au moyen de la vis E. On

répétera cette opération jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de correction à faire.

L'instrument ayant été rectifié de cette manière, on pourra s'en servir, soit pour niveler un terrain, soit pour en déterminer ou régler les pentes : mais dans ce cas on rendra mobile le châssis de la grande pinnule, tandis qu'on laissera fixe celui de la petite; et cela, afin de pouvoir incliner convenablement le rayon visuel, par rapport à l'horizon de l'observateur. Il sera donc facile de connaître l'inclinaison des chemins, par exemple, exprimée en pouces ou parties de pouce, à l'aide de cet instrument qui prend le nom de *Clitomètre* ou d'*Eclimètre*, quand on l'applique à cet usage. Voici quelle est, alors, la manière de s'en servir..

Préparation et usage du Clitomètre, pour déterminer l'inclinaison des chemins, et tracer sur la terre une ligne ayant une pente assignée.

(65 *bis*) On examinera d'abord si l'instrument est en bon état. Il faut, pour cela, comme je l'ai déjà dit, que les faces extérieures des pinnules soient bien parallèles, et à un pied de distance, mesuré perpendiculairement auxdites faces. Les divisions principales de la grande pinnule doivent être de la 72e. partie de la distance, qui sépare sa face extérieure de celle de la petite, c'est-à-dire, de 2 lignes chacune. Cela posé, on mettra le châssis de la petite pinnule à la hauteur qui lui convient; pour y parvenir, ayant fixé à zéro l'index du châssis de la grande pinnule, mis l'instrument sur son pied, et ramené la bulle parfaitement au milieu du tube, en tournant l'écrou de la vis qui est au-dessous de la

première règle, on examinera à quel point vise l'intersection des fils de la grande pinnule, l'œil étant au trou de la petite; puis on regardera le même point par le trou de la grande pinnule, et si la bulle d'air étant ramenée au milieu du Niveau, ce point est bien recouvert par le fil horizontal de la petite pinnule, tout est bien; mais s'il donne au-dessus ou au-dessous, il faut serrer ou desserrer la vis qui est sur le châssis de la petite pinnule, jusqu'à ce que l'on n'ait plus rien à désirer à cet égard; alors l'instrument est propre à toutes les opérations ordinaires du Nivellement; il devient, en effet, un niveau véritable, toutes les fois que la bulle est au milieu du tube; car le rayon visuel qui passe par le trou d'une pinnule, et par le fil horizontal de la pinnule opposée est alors de niveau. Mais le principal usage du clitomètre, celui qu'indique son nom, est de tracer sur un terrain inégal une ligne d'inclinaison donnée; et de mesurer la pente d'un terrain, dans une direction assignée.

Pour parvenir à résoudre le premier problème : le châssis de la petite pinnule étant arrêté, comme il vient d'être dit, à la hauteur convenable, on met le zéro ou index du châssis de la grande pinnule, au degré qui marque l'inclinaison de la ligne que l'on veut tracer. Par exemple, si cette inclinaison doit être de 3 pouces 5 lignes par toise, on arrêtera l'index du châssis, à peu près à 3 pouces 3 lignes; ensuite, au moyen de la vis de rappel dont la tête est sous la deuxième règle, on fera mouvoir le châssis mentionné, jusqu'à ce que son index indique avec exactitude la pente voulue; ce qui aura lieu lorsque la droite du châssis numérotée 2, coïncidera avec celle du montant de la pinnule qui suit sa ligne numérotée 5. Cela fait on place

l'instrument au point où doit commencer la ligne d'inclinaison que l'on veut établir ; on dispose et arrête le voyant d'une mire à une hauteur égale à celle du trou de la petite pinnule au-dessus du terrain ; alors on transporte la mire dans la direction voulue ; on fait glisser son pied sur le terrain, jusqu'à ce que le milieu de son voyant se trouve dans le rayon visuel, passant par le trou de la petite pinnule, et le fil horizontal de la grande, la bulle étant au milieu du tube, ce qui doit toujours être entendu. Dans cet état de choses et abstraction faite de la réfraction, la ligne qui joint le pied de la mire et celui du clitomètre, est parallèle au rayon visuel ; elle a donc l'inclinaison demandée.

Si l'on veut prolonger la ligne à tracer au delà de la position actuelle de la mire, on la remplacera par le clitomètre ; et après avoir arrêté son voyant à la nouvelle hauteur sur le terrain, du trou de la petite pinnule du clitomètre, on la transportera du côté où doit être dirigée la ligne d'inclinaison que l'on veut établir ; et l'on cherchera sur le terrain un nouveau point tel, qu'en y plaçant le pied de la mire fixée à la hauteur de la seconde observation, et regardant au travers de l'instrument, le milieu de la mire se trouve encore dans le rayon visuel ; alors la ligne droite entre les deux points où l'on a posé la mire, a l'inclinaison demandée. Au delà du 2me. point, on peut de même en trouver un 3me. et ainsi de suite, tant qu'on jugera à propos qu'ils soient tous joints par des lignes d'inclinaison égale.

Si au lieu d'établir une ligne d'une inclinaison donnée, on se proposait de connaître quelle est l'inclinaison d'un chemin ou d'une ligne désignée, on pourrait le faire avec le clitomètre comme avec

un niveau ordinaire. Car en mettant à zéro l'index de la grande pinnule, le clitomètre peut fournir la différence de niveau de deux points de la droite considérée; mesurant donc la distance horizontale des deux points dont on aura observé la différence de hauteur, et divisant cette différence par le nombre de toises ou de mètres qui se trouvent dans la distance des points observés, le quotient sera la pente cherchée pour une toise, ou pour un mètre, selon que l'on aura fait usage de l'une ou l'autre mesure.

Mais si l'on voulait se dispenser de mesurer la distance, le clitomètre donnerait immédiatement l'inclinaison cherchée, en opérant ainsi qu'il suit.

Soit A B (*fig.* 41), la ligne dont on veut connaître l'inclinaison, on posera l'instrument sur un point quelconque P de cette ligne, et l'on cherchera le point D du terrain qui se trouve perpendiculairement au-dessous de la petite pinnule du clitomètre; alors non loin mais égale distance du point D, on choisira sur le terrain deux autres points E et F; on mettra l'index de la grande pinnule à zéro, et l'on se servira du clitomètre comme niveau pour prendre les hauteurs E G, F H, de l'horizontale G O H, du trou O, de la petite pinnule, au-dessus des points G, H, mentionnés; ensuite on portera vers A ou B, à une grande distance une mire, ayant de hauteur I K = O D, moitié de la somme des hauteurs E G, F H trouvées; et l'on fera monter le châssis de la grande pinnule, en sorte que l'on puisse voir par le trou de la petite, et sur un même rayon visuel, le voyant de la mire K et le fil horizontal de la grande pinnule; alors l'index du châssis marquera de combien de pouces et de lignes par toise, se trouve l'inclinaison de la ligne A B.

CHAPITRE V.

Description de deux Niveaux à bulle d'air et à une lunette, perfectionnés par M. Busson.

(66.) Les niveaux à bulle d'air et à lunette étant aujourd'hui les plus en usage, parce qu'ils dispensent d'avoir une bonne vue, et permettent de faire de grandes stations, M. Busson a cherché les moyens d'en composer un, qui fût plus simple que ceux déjà connus, et dont le prix fût à la portée d'un plus grand nombre de personnes.

Cet instrument est composé d'une règle LZ (*fig.* 42), de deux supports LH, ZK, dont le second est fixe; l'autre qui est mobile peut monter ou descendre, au moyen de la vis de rappel B. Au milieu de la règle LZ est une tige *e*C, terminée par une sphère C qui peut tourner dans des coquilles D, D, lorsqu'on desserre la vis E. Cette règle est comprise entre les calottes AI, GF, qui donnent à l'instrument, la liberté de faire un tour entier d'horizon, sur le plan de la calotte inférieure.

La lunette achromatique MN, a son oculaire en N et son objectif en M. Le canon auquel est fixé l'oculaire N, peut s'avancer ou se retirer intérieurement, et le tuyau MP, auquel est fixé l'objectif, peut s'avancer ou se retirer extérieurement, suivant la nature de la vue de l'observateur.

On voit au point O, la saillie de la tête d'une vis, qui sert à changer la position de la croix des deux fils de soie du réticule.

U, représente l'une des extrémités d'un niveau à bulle d'air de 8 centimètres de long, qui est en travers sur la lunette ; ce petit niveau a pour objet de placer toujours la lunette dans la même position, afin que la bulle contenue dans le niveau R, corresponde sans cesse aux mêmes parties du tube de verre.

(67.) Lorsqu'on veut se servir de cet instrument, on introduit la tige d'un trépied ordinaire, dans la douille S; on desserre ensuite la vis E, et l'on fait en sorte de placer la tige *e*C, de manière qu'elle approche le plus possible de la verticale; on serre ensuite les deux coquilles du genou, à l'aide de la vis mentionnée, afin de fixer la tige.

Pour opérer, on tire d'abord le canon N de l'oculaire, jusqu'à ce que l'on aperçoive les fils en croix, le plus clairement possible; puis on retire ou l'on avance le canon MP, auquel est fixé l'objectif, de manière qu'on puisse voir l'objet très-nettement. On s'occupe ensuite de rectifier la lunette comme il a été dit pour le Niveau de Chézy (58).

Enfin, l'on vérifie si, la bulle étant au milieu du niveau, l'axe optique de la lunette est horizontal; le procédé indiqué pour le Niveau de Chézy s'applique encore à cette vérification. Une fois que la lunette se trouve centrée, et que l'axe optique est horizontal quand la bulle est au milieu du niveau; on peut se servir de cet instrument, en suivant dans le cours des opérations, la même méthode qu'avec le Niveau de Chézy. C'est à l'aide de la vis B qu'on rappellera la bulle au milieu du niveau.

Pour rendre le mouvement de la vis de rappel plus doux, on pourra faire construire l'instrument de manière que l'appui mobile LH, puisse s'approcher ou s'éloigner un peu de l'appui fixe KZ, sui-

vant que l'axe optique s'éloignera ou s'approchera du parallélisme avec la règle LZ.

Lorsque le plan GF, n'est pas horizontal, et qu'on fait faire à la partie HLZK de l'instrument, des fractions successives de tour d'horizon, les différens axes optiques horizontaux qu'on obtient, ne sont pas situés dans le même plan horizontal. En supposant que le plan supérieur de la calotte GF, fasse un angle de 30 degrés avec l'horizon, et que la distance de la face intérieure du support immobile ZK, au point *e* soit égale à 94 millimètres : on trouve que le plus grand abaissement de l'axe optique est égal à 47 millimètres, quantité près de six fois plus grande que l'abaissement de l'axe optique dans le Niveau de Chézy.

Lorsque le Niveau décrit par M. Busson pose sur son trépied, on peut avec un peu d'adresse, et d'habitude, rendre presque horizontal le plan GF, sur lequel tourne la règle LZ, parce que la position de ce plan n'est point subordonnée à celle du trépied, la tige *e*C de cet instrument étant mobile : dans le Niveau de Chézy, au contraire, une fois que le trépied est placé, la position de la tige, et par conséquent l'angle que fait son plateau avec l'horizon est fixé irrévocablement.

M. Busson a donné la description de ce niveau à bulle d'air et à lunette, 1° parce qu'il coûterait moins cher que tous les niveaux connus de la même espèce, 2° parce qu'il est beaucoup plus simple que le niveau à bulle d'air, composé de deux règles placées l'une au-dessus de l'autre, et 3° parce qu'il offre les mêmes avantages avec moins d'inconvéniens.

Le même auteur a encore donné (*Essai sur le Nivellement, page* 79) la description d'un niveau

tel, qu'en lui faisant faire une fraction quelconque de tour d'horizon, la bulle d'air placée à son milieu changeât très-peu de place. Cet instrument est composé d'une règle et d'une lunette, à peu près semblables à la règle et à la lunette du niveau décrit ci-dessus, dont il ne diffère que par le pied sur lequel il pose, et qui est le pied à double mouvement de Bellery, perfectionné par M. Lenoir.

Description d'un Niveau à bulle d'air et à deux lunettes.

(68.) Ce niveau est composé d'abord d'une plaque de cuivre AB (*fig.* 43, 44 et 45) d'environ 8 décimètres de longueur, 3 centimètres de largeur et 5 millimètres d'épaisseur; sur cette plaque sont fixées deux lunettes C, et D, de 43 centimètres de longueur chacune, et un niveau à bulle d'air E, de 24 centimètres de long, situé entre ces lunettes: le tout est posé sur un grand ressort de cuivre FG (*fig.* 42), au milieu duquel est une tige HI, et un genou semblable à celui des graphomètres.

La plaque AB qui forme le plan horizontal, est attachée sur le ressort par une de ses extrémités, au moyen d'une vis F (*fig.* 43 et 44), ou avec deux vis. On voit à l'autre extrémité de la plaque une vis G (*fig.* 43), à tête moletée, qui sert à élever ou à baisser le plan horizontal par un mouvement lent, et par conséquent, à ajuster la bulle d'air au milieu du niveau. Un second niveau K, est placé à angles droits, sur les deux lunettes; ce niveau qui a 8 centimètres de long (*fig.* 44 et 45), est destiné à disposer horizontalement la plaque AB, sur sa largeur, afin que les axes optiques des lunettes puissent être dans un même plan horizontal; il est retenu momentanément par les res-

sorts O et P (*fig.* 43 et 45). Lorsqu'on renferme l'instrument dans sa boîte, on enlève ce niveau K, pour le mettre dans une case particulière.

Les deux lunettes sont placées en sens contraires, c'est-à-dire, que l'une a son oculaire en C (*fig.* 43 et 45), l'autre en L; elles sont fixes, mais on peut en élever ou en abaisser le réticule, au moyen d'une clef carrée, que l'on introduit dans la tête des vis M et N.

Tout le système KAGFBC (*fig.* 43) fait autant de tours d'horizon que l'on veut, au moyen d'une tige intérieure, qui tourne dans la tige extérieure HI. On trouve de ces sortes de tiges chez tous les ingénieurs en instrumens de mathématiques, ensorte qu'il n'est pas nécessaire, comme on voit, de desserrer la clef à vis Q, pour faire faire un tour d'horizon à l'instrument.

(69.) Avant de se servir de ce niveau, il est nécessaire de vérifier si l'axe optique de chaque lunette est horizontal, quand les bulles sont au milieu des niveaux E et K (*fig.* 45); si l'on est voisin d'une nappe d'eau, on établit son instrument sur le bord, de manière à pouvoir mesurer l'élévation du centre de l'oculaire au-dessus de la surface de l'eau. On fait placer ensuite une mire à 200 ou 300 mètres de distance du niveau, sur la tête d'un piquet qui soit à fleur d'eau. Supposons, pour fixer les idées, la mire distante de 300 mètres de l'instrument, et le centre de l'oculaire à 1,m46 au-dessus de la surface de l'eau. On pointera d'abord la lunette C sur le voyant de la mire; si la cote qu'elle donne est égale à 1,m46, plus la hauteur du niveau apparent diminuée de l'abaissement causé par la réfraction, pour la distance de 300 mètres, hauteur qui est

égale à 0,^{m}006, suivant la table (11), c'est une preuve que l'axe optique de la lunette C est horizontal; car deux points suffisent pour déterminer la position d'une ligne droite : or, d'après l'hypothèse, l'axe optique de la lunette C, passe par deux points situés dans une ligne horizontale; donc cet axe luimême est horizontal.

Mais si la cote donnée par la mire, est plus grande ou plus petite que 1,^{m}460 + 0,^{m}006, ou que 1,^{m}466, c'est une preuve que l'axe optique est, dans le premier cas au-dessus de l'horizon, et dans le second au-dessous. On abaissera donc, ou on élevera le reticule de la lunette C, suivant qu'il sera nécessaire, jusqu'à ce que la mire donne une cote égale à 1,^{m}466; alors seulement, on sera certain que l'axe optique de la lunette C, est horizontal.

On retournera ensuite l'instrument bout pour bout, et l'on rendra horizontal l'axe optique de la seconde lunette D, s'il ne l'est pas, en suivant le procédé que l'on vient de décrire. Lorsqu'on est certain que les axes optiques des deux lunettes, sont dans un même plan horizontal, on peut se servir de l'instrument. Si l'on a deux mires, et que chacun des porte-mires ait soin de placer la sienne, dans une ligne droite passant par le pied du niveau, et par celui de la mire opposée, le niveleur pourra pointer du même coup une des lunettes sur chaque mire; tandis qu'en se servant du niveau à bulle d'air et à une lunette, il faut, pour viser les deux mires, ou retourner les deux supports avec la lunette, bout pour bout, ou bien ouvrir les deux collets, et retourner seulement la lunette bout pour bout.

(70.) Si l'on n'a pas une nappe d'eau à sa disposition, on aura recours au moyen suivant, pour

faire la vérification dont nous venons de parler. On établira l'instrument au point R (*fig.* 46), à 150, 160, ou 200 mètres de distance de deux points Y et Z, qui ne s'écartent pas beaucoup du vrai niveau. On pointera l'une des deux lunettes de l'instrument, celle qui a son oculaire en *r*, par exemple, sur la mire placée en Z; les bulles des deux niveaux étant ramenées à leurs milieux, supposons que *n* soit le point de visée. On retournera l'instrument bout pour bout, ce qui transportera en *a* l'oculaire de la lunette employée, alors on rappellera encore les bulles au milieu des niveaux, tout en pointant la même lunette, sur le voyant de la seconde mire placée en Y; le second point de visée est supposé en *m*.

Il est évident que les points *m*, et *n*, seront de niveau, quelle que soit la direction de l'axe optique de la lunette employée, lorsque les bulles sont au milieu des niveaux; car les points *r* et *a* où l'observateur a placé successivement son œil, étant situés de la même manière par rapport à l'horizon, les deux rayons *am*, *rn*, ne sont autre chose que le même, qu'on a retourné bout pour bout; on conçoit donc qu'en déterminant ainsi les deux points de visée *n* et *m*, à égale distance de l'observateur, ces points seront également éloignés du centre de la terre, étant également élevés ou abaissés à l'égard du vrai niveau; c'est pourquoi ils seront de niveau entre eux, sans l'être nécessairement avec l'œil de l'observateur.

Les points *m* et *n* étant de niveau, il nous sera facile d'assigner maintenant, de combien le point Y, est plus élevé que le point Z. Supposons qu'il le soit de 0,^{m}200.

On transportera l'instrument en Y, et on le dis-

posera de manière que chaque bulle soit au milieu de son niveau, tout en dirigeant vers Z, une de ses lunettes. Puis on mesurera la hauteur du centre de l'oculaire de cette lunette au-dessus du point Y. Supposons qu'elle soit de 1,m399; si la cote donnée par la mire, est plus grande ou plus petite que 1,m399 + 0,m200 — 0,m017. Lorsque $Ry = Rz = 160$ mètres, c'est une preuve que l'axe optique de la lunette employée est situé au-dessus ou au-dessous de l'horizon. On le rendra horizontal, en abaissant ou en élevant son réticule, au moyen de l'une des deux vis désignées par M et N, (*fig.* 45); jusqu'à ce que le rayon visuel du niveleur, passe à 1,m5973 au-dessus du point Z.

La lunette choisie étant ainsi rectifiée, il ne restera plus qu'à procéder au même endroit Y, à une opération tout-à-fait semblable à la précédente, en employant la seconde lunette du niveau, qui se trouvera ainsi dans l'état convenable à sa destination.

Autres Niveaux à bulle d'air et à deux lunettes.

(71.) Il existe des niveaux à bulle d'air et à deux lunettes, construits de manière que les lunettes sont liées ensemble, et que leurs axes optiques sont fixes et parallèles entre eux, ou situés au moins dans un même plan. On renferme les deux lunettes dans un coffre cylindrique ou prismatique, au-dessus duquel est placé un niveau mobile, à bulle d'air. Ce coffre est attaché sur un ressort de cuivre, auquel est fixée une tige qui roule dans un genou, comme cela a été représenté par ABFGH (*fig.* 43); de sorte que cet instrument peut faire le tour de l'horizon.

Lorsqu'on veut se servir de cet instrument, il faut vérifier d'abord, si l'axe optique de l'une des lunettes est horizontal, la bulle étant au milieu du niveau placé sur le coffre. Si l'on est à portée d'une nappe d'eau, on s'en servira pour faire cette vérification; dans le cas contraire on cherchera d'abord deux points de niveau comme on l'a enseigné, et l'on rectifiera l'instrument par une méthode analogue à celle qui a été indiquée (58) pour le niveau (*fig.* 30): en observant que, comme le réticule de chacune des lunettes est fixe, il faut rendre leurs axes optiques horizontaux, non par le déplacement de ces réticules, mais en approchant ou en éloignant du coffre, le niveau à bulle d'air placé dessus.

Ce que l'on vient de dire suppose qu'on a fixé en travers sur le coffre des lunettes, un petit niveau semblable à ceux qui sont en U (*fig.* 42), ou en O (*fig.* 45), de manière que quand la bulle y est au milieu, la ligne que l'on mènerait du centre de l'oculaire d'une des lunettes, au centre de l'objectif de l'autre soit horizontale.

(72.) M. Busson a vu d'autres niveaux à bulle d'air et à deux lunettes; ils se composent d'une lunette à réticule mobile, et d'une lunette d'épreuve, appuyée sur deux supports, dont l'un est fixe et l'autre peut s'élever ou s'abaisser, d'une petite quantité. Chacun de ces supports a un collier, que l'on ouvre quand on veut retourner bout pour bout, la lunette d'épreuve.

Entre les deux lunettes, ou au-dessus de celle qui est fixe, se trouve placé un niveau mobile à bulle d'air. Le tout est sur un plateau que l'on peut rendre horizontal, au moyen de vis boutantes, ou de vis d'une autre nature.

Avant de se servir d'un pareil instrument, 1°. on

rendra horizontal le plateau sur lequel il tourne. Pour cet effet, on disposera ce plateau de manière que la bulle d'air soit au milieu du niveau; on fera faire ensuite une demi-révolution à l'instrument. Si la bulle change de place, on la rappellera au milieu du niveau, en lui faisant faire la moitié du chemin, au moyen de la vis de rappel du niveau, et l'autre moitié à l'aide des vis du plateau. On répétera cette manœuvre, jusqu'à ce que la bulle reste au milieu du niveau, avant et après le retournement.

2°. On centrera la lunette d'épreuve d'après ce qui a été enseigné précédemment.

3°. Cette lunette d'épreuve étant centrée, et la bulle étant au milieu du niveau, on mirera un point quelconque. On fera faire ensuite un demi-tour à l'instrument; on retournera la lunette mentionnée bout pour bout, et l'on examinera si son axe optique aboutit au même point, pendant que la bulle du niveau occupe son milieu. Dans ce cas, il est clair que cet axe est horizontal; le cas contraire sera une preuve qu'il ne l'est point, et alors on baissera, ou on élèvera, le support mobile de cette lunette, suivant qu'il sera nécessaire, jusqu'à ce que son axe optique aboutisse au même point, avant et après le retournement.

4°. L'axe optique de la lunette d'épreuve, étant rendu horizontal, on en fera de même pour celui de l'autre lunette. A cet effet, on visera un point quelconque avec la lunette d'épreuve, la bulle d'air étant au milieu du niveau; on visera ensuite le même point avec la lunette immobile. Et si l'axe optique de cette lunette va le rencontrer, il sera horizontal : dans le cas contraire, il sera incliné à l'horizon; alors on fera changer de place au réti-

cule de la lunette immobile, jusqu'à ce que cette condition cherchée soit remplie.

Pour que cette opération rende horizontal l'axe optique de la lunette immobile, il faut nécessairement que les centres des oculaires soient sur une ligne horizontale, ce qui dépend du constructeur de l'instrument. On s'assurera aisément s'ils y sont, en mirant avec la lunette d'épreuve, dont l'axe a été rendu horizontal, un point plus près ou plus loin du Niveleur que celui qui a servi à rectifier la position de son axe; car il faut que l'axe optique de la lunette immobile aboutisse à ce second point.

(73.) M. Busson n'a pas entrepris de décrire d'autres niveaux à bulle d'air et à deux lunettes. Il a jugé ce que nous venons de rapporter d'après lui, suffisant, pour mettre un ingénieur à même de vérifier, et de rectifier, un de ces niveaux quel qu'il soit. Au surplus la rectification de ces sortes d'instrumens se réduit en général :

1°. A rendre horizontal l'axe optique de l'une des lunettes, la bulle d'air étant au milieu du niveau.

2°. A faire en sorte que l'axe optique de l'autre lunette, soit dans le même plan horizontal que celui de la première.

Nota. Les niveaux à bulle d'air et à une ou deux lunettes, depuis celui de Chézy, ont été dessinés sur la même échelle qui est le tiers de la grandeur naturelle, afin que l'on puisse plus facilement les comparer ensemble.

Du Niveau de l'Agronome, sa description.

(74.) M. Fabre, ingénieur en chef des ponts et chaussées, décrit dans son *Traité complet du Ni-*

vellement, imprimé à Draguignan, un instrument qu'il croit avoir inventé, n'en ayant jamais vu aucune description. Il lui a donné le nom de *Niveau de l'Agronome*, parce qu'il est particulièrement affecté à l'usage des agriculteurs.

« Les habitans de la campagne ont souvent be-« soin, dit cet auteur, de soutenir les eaux, et de « tracer des fossés pour l'arrosage de leurs terres. « Il est donc à propos de leur désigner un niveau, « dont un seul homme puisse se servir pour cet « objet, qui n'exige ni piqueur, ni porte-chaîne, « ni aucun autre auxiliaire; et dont la simplicité ne « laisse rien à désirer. » En voici la description.

AB, et AC (*fig.* 47), sont deux règles de bois d'environ 3 centimètres d'équarrissage, et de 1,^{m}64 de longueur. Elles forment une espèce de compas au moyen du boulon vissé A, et arrêté à son extrémité par un écrou. Elles sont percées à jour en D, et en E, à égale distance du boulon A, par deux mortaises destinées à recevoir une troisième règle DE, qui s'assemble avec elles par deux autres boulons entièrement semblables au premier.

La longueur de la troisième règle DE, entre les deux boulons D et E, sera à AD, et à AE : : 200 : 164; par conséquent en faisant AB = 1,^{m}64 on aura BC = 2^{m}.

On tirera au milieu F, de la règle DE, un trait d'équerre. On coupera en biais, et suivant la ligne BC, les deux branches AB et AC.

Enfin la tête du boulon A, sera garnie d'un petit anneau, auquel on attachera un fil-à-plomb AG, le plus délié possible.

Il est clair, d'après cette construction, que le triangle ADE étant isocèle, la ligne AFG qui passe par le milieu F, de DE, sera perpendiculaire à

cette dernière, et par conséquent à sa parallèle B C; donc lorsque le trait F, sera ramené dans la direction A G, du fil-à-plomb, la ligne BC fournie par les pieds de l'instrument sera horizontale ou de niveau.

Usage de ce Niveau.

(75.) Pour se servir de cet instrument, aux extrémités B, et C, des deux branches A B, et A C, taillées en biais, ainsi qu'il vient d'être dit, on adaptera deux plaques de fer ou espèce de semelles *a b* et *c d*, de même épaisseur. Ces semelles seront circulaires, et auront environ o,^{m} 15 de diamètre. Elles seront percées à leur centre d'un trou quarré, qui recevra d'équerre des pointes en fer *f*, et *f'*, dont la partie supérieure entrera et sera vissée dans les branches A B et A C. Ce talon est destiné à empêcher que les extrémités B, et C, ne s'enfoncent inégalement dans la terre.

Les fossés ou canaux d'irrigation, ont besoin d'une certaine pente, qui serve à faciliter l'écoulement des eaux, et à vaincre la résistance des frottemens. D'où il suit que, plus cette résistance est grande, plus la pente doit augmenter. Or, la résistance des frottemens étant, toutes choses d'ailleurs égales, plus grande dans un petit canal que dans un plus grand (*a*), on doit en conclure que, plus le fossé sera étroit, plus il faudra lui donner de pente.

Le niveau dont il s'agit, étant particulièrement destiné à tracer de petits fossés d'irrigation, auxquels on doit donner une pente proportionnée à leur capacité, on sent qu'il est nécessaire de diviser cet

(*a*) Fabre, *Traité sur les torrens et les rivières.*

instrument de manière qu'il puisse servir aussi de niveau de pente.

L'expérience prouve que les plus petits fossés n'exigent qu'une pente égale à la 200e partie de leur longueur. A mesure que le fossé devient plus grand sa pente doit diminuer, et se réduire progressivement à la 300e, 400e, 500e, etc. partie de sa longueur.

D'après cela, supposons que la ligne BC de l'instrument, se confonde d'abord avec la ligne BH du terrain de niveau; et qu'on lui fasse prendre ensuite la position de BH', représentant la ligne de pente du fossé à construire. En décrivant du point B comme centre, l'arc de cercle CC', il est clair que le point C du niveau arrivera en C'; et que, dans ce mouvement, toutes les parties de l'instrument prendront une déviation égale à l'angle CBC'. Ainsi la direction AG du fil-à-plomb dans la première position du niveau, prendra dans la seconde, celle AG', telle que l'angle GAG' soit égal à l'angle CBC'.

Soient BK la longueur de niveau du fossé, et H'K perpendiculaire à BH la pente à lui donner sur cette longueur. Les triangles BH'K et AFF' seront semblables. Par conséquent, on aura la proportion BK : H'K : : AF : FF', de laquelle on tire $FF' = \frac{H'K}{BK} \times AF$.

Il suit de là que pour avoir le point F' par lequel doit passer le fil-à-plomb, sous une pente déterminée à donner au fossé, il faut multiplier AF qui est connu, par le rapport de la pente à la longueur de niveau, exprimé par $\frac{H'K}{BK}$.

Si nous supposons $\frac{H'K}{BK} = \frac{1}{200}$ nous aurons $FF' = \frac{AF}{200}$. Par conséquent, en prenant la 200e partie de

K 4

A F, et la portant de F en F′, on aura le point F′ par lequel doit passer l'aplomb sous cette pente.

Si $\frac{H'K}{hK} = \frac{1}{300}$, on aura $FF' = \frac{AF}{300}$ et ainsi de suite.

Par où l'on voit qu'on trouvera sur la ligne DE, autant de points de division F′, qu'on voudra : il sera à propos de les porter de chaque côté de F.

Les différens points de division étant fixés sur DE, on fera passer par chacun d'eux un trait dirigé vers le centre du boulon A. Ces traits désigneront la direction de l'aplomb sous les pentes qui leur seront relatives. Enfin on gravera sur la face de la règle DE, et au droit de chaque trait, le nombre qui exprime le dénominateur du rapport de la pente, à la longueur du fossé mesuré horizontalement. Ainsi, au droit du trait marqué par F, on écrira zéro ; au droit de F′, on marquera 200, etc.

La manœuvre de cet instrument exige qu'à l'extrémité A de l'une des branches, il y ait une poignée cylindrique longue d'environ 0,m15. D'après la longueur de chaque branche et la forme du triangle, on verra que cette poignée ne pourra jamais être à plus de 1,m5, au-dessus du terrain. Conséquemment elle sera à la portée d'un homme de taille ordinaire.

Vérification de ce Niveau.

(76.) Le Niveau de l'agronome ne différant du niveau à perpendicule décrit (21), que par les deux semelles *a b*, et *c d*, et par les pointes *f*, et *f′*, qui sont au bas des branches ; ces pointes et ces semelles enlevées, à la grandeur près de l'angle que forment les branches, ces niveaux sont abso-

lument semblables, et doivent par conséquent être vérifiés de la même manière. Ainsi on suivra pour la vérification du niveau de l'agronome, le procédé prescrit (23).

Des autres instrumens nécessaires au Nivellement.

Il ne suffit pas d'un niveau pour pouvoir niveler; il faut encore divers instrumens accessoires, tels que des jalons et des piquets pour tracer la route sur laquelle on doit opérer; un jalon mire pour prendre les hauteurs du rayon de visée; une chaîne métrique pour mesurer les distances, des fiches pour marquer les longueurs à chaîne, etc. Tous ces instrumens doivent avoir des qualités particulières qu'il est bon de faire connaître.

M. Fabre, dans son excellent ouvrage cité précédemment, a donné des détails, tant sur les instrumens qui servent à niveler, que sur la pratique même du Nivellement. L'utilité et la perfection de ces détails, me déterminent à les reproduire ici.

Des Jalons et des Piquets.

(77.) Dans un Nivellement, on a toujours une route à suivre; cette route est désignée par l'objet qu'on se propose. S'il s'agit, par exemple, de niveler le tracé d'un chemin, d'un canal, c'est la ligne de ce tracé qu'il faut suivre dans tout son cours, et avec ses sinuosités. Il convient donc de marquer les divers points par lesquels on doit passer, et surtout ceux où la direction change, afin de s'y diriger en mesurant à la chaîne.

Pour marquer ces points, on se sert de bâtons bien droits, d'environ deux mètres de longueur

sur trois centimètres de diamètre ou à peu près. On les arme à l'un des bouts, d'un petit sabot de fer terminé en pointe, pour pouvoir les ficher plus facilement dans la terre : l'autre bout est fendu pour recevoir un carton, ou tout autre objet qui le fasse distinguer ; ordinairement on adapte au bâton une planchette mi-partie de blanc et de noir. Ce sont ces bâtons qu'on appelle des *Jalons*.

Le nombre des jalons à employer dans les opérations du Nivellement, dépend de celui des sinuosités de la ligne à parcourir. Comme ils doivent surtout être plantés aux angles de déviation, on voit que plus la ligne sera brisée, plus il en faudra. En général sept ou huit jalons suffisent sur la ligne la plus sinueuse, trois ou quatre en plaine.

Les jalons étant d'ordinaire portés à la campagne, avec les autres instrumens, par les piqueurs, le poids en doit être diminué le plus qu'il sera possible. Il convient donc de ne les faire qu'avec du bois léger, pourvu qu'ils aient d'ailleurs assez de consistance pour supporter le sabot de fer, et pour être plantés en terre.

On laisse des marques visibles non-seulement aux angles où l'on a placé des jalons, mais encore aux points que l'on veut prendre pour repères. Ces marques sont des piquets auxquels on donne un mètre de longueur, si l'on a la certitude qu'ils ne seront pas enlevés ; afin qu'en ne les enfonçant qu'au tiers ou à moitié dans la terre, on puisse les apercevoir d'une certaine distance. Si l'on prévoit qu'ils seront dérangés, on ne les fait longs que de 35 à 40 centimètres, et on les enfonce tout-à-fait dans la terre, ayant soin de placer à côté un petit tas de pierres qui aide à les retrouver.

De la Mire et de son carton.

(78.) Outre les jalons dont je viens de parler, il y en a un spécialement affecté à prendre la hauteur des rayons de visée, au-dessus des points nivelés. Ce jalon s'appelle *Jalon de mire*, *Jalon-mire*, ou simplement *Mire*. La mire doit être accompagnée d'un *Carton* ou *Voyant;* et la manière de les construire l'un et l'autre, influe beaucoup sur l'exactitude des opérations. On a déjà donné leur description (53).

De la chaîne à mesurer les distances.

(79.) Dans toutes les opérations du Nivellement, il est essentiel de mesurer les distances, soit pour régler les pentes, soit pour profiler le terrain nivelé, soit pour rapporter le travail sur le papier. On sent qu'il faut avoir, à cet effet, des mesures évaluées en mètres, mais bien plus longues que lui; car outre qu'on perdrait du temps en employant de petites mesures, on s'exposerait aussi à beaucoup d'erreurs. Dans les moyennes opérations du Nivellement, on se sert d'une chaîne de dix mètres, et dans les grandes, de chaînes de vingt mètres.

Il semble, au premier aperçu, que le moyen le plus simple serait d'employer un cordeau, sur lequel on marquerait tous les mètres que contient sa longueur. Ce cordeau aurait l'avantage de pouvoir être roulé en peloton, il serait peu volumineux, fort léger et point embarrassant; mais il aurait aussi l'inconvénient de s'allonger ou de se raccourcir beaucoup, selon qu'il serait plus ou moins tendu,

et selon le degré de sécheresse ou d'humidité de l'atmosphère. Ces considérations suffisent, pour démontrer que les cordeaux ne conviennent pas au mesurage des distances.

La seule mesure qui n'ait pas ces défauts, et qu'on puisse employer avec confiance, est une chaîne composée de plusieurs chaînons de gros fil de fer, assemblés et joints les uns aux autres par des anneaux. Une chaîne pareille n'est susceptible ni de s'allonger, ni de se raccourcir sensiblement, et les mesures que l'on prendra par ce moyen seront exactes.

Si l'on veut donner à la chaîne toute la précision désirable, il faut mettre beaucoup de soin dans sa fabrication. Le fil de fer qui y entrera ne doit pas avoir moins de quatre millimètres d'épaisseur. Les anneaux servant à joindre les chaînons seront du même fil et de forme ovale : s'ils étaient circulaires, la tension les ramenerait insensiblement à la forme désignée, ce qui augmenterait la longueur de la chaîne. L'ovale des chaînons doit être la plus allongée, ou la plus excentrique possible.

Pour que l'on puisse mesurer facilement avec la chaîne, il faut qu'à chacune de ses extrémités, il y ait une poignée dans laquelle le porte-chaîne passe aisément la main. Cette poignée aura la forme d'un triangle équilatéral d'un décimètre de côté, et le diamètre du fil de fer dont elle sera formée aura au moins sept millimètres, afin qu'elle ne plie pas quand on tendra la chaîne. Enfin au sommet du triangle, il y aura un anneau auquel le premier chaînon sera attaché.

Dans les chaînes de vingt mètres, la longueur totale d'un chaînon, et du demi-diamètre de chacun des anneaux entre lesquels il se trouve, devra être d'un demi-mètre. La longueur pareille des

deux chaînons extrêmes se composera, 1°. du demi-diamètre de l'anneau adjoint; 2°. de la longueur du chaînon; 3°. de celle de la perpendiculaire menée du bout du chaînon au bord extérieur du côté de la poignée.

Dans les chaînes de dix mètres, les chaînons n'auront que vingt-cinq centimètres de long, mesurés comme ci-dessus; quant aux chaînons extrêmes, leur longueur se composera de même que la précédente.

Comme il est essentiel de pouvoir aisément distinguer les mètres, et leur nombre, sur la chaîne, on devra employer des anneaux de cuivre à chaque mètre.

Quand on mesure avec la chaîne, et lorsqu'elle est tendue, le porte-chaîne d'avant doit laisser en terre un piquet qui fasse connaître l'endroit où la chaîne se termine. Le nombre de ces piquets appelés *Fiches*, à cause de leur destination, étant recueilli par le porte-chaîne d'arrière, indique celui des chaînées. L'usage est d'employer des fiches de fil de fer, d'environ trois décimètres de longueur et de sept millimètres de diamètre : elles doivent être pointues par un bout pour pouvoir entrer dans la terre ; l'autre bout est recourbé et forme un anneau, dans lequel on passe une ficelle pour assembler les fiches hors le temps des opérations, et n'en pas égarer.

(80.) M. Fabre indique encore, comme objets nécessaires au niveleur, une petite hache, qui servira, soit à préparer sur les lieux, les piquets en bois qu'on devra planter aux angles, et aux autres endroits pris pour repères ; soit à abattre les broussailles, qui gênent quelquefois les opérations.

Dans le Nivellement, il faut par intervalles, se

rapporter à des repères fixes et immuables; ces repères doivent être marqués par des croix, ou d'autres figures, qu'on taille sur le rocher, ou sur la pierre dans les ouvrages d'art. Il faut donc avoir à cet effet un ciseau de tailleur de pierre.

Le même auteur, conseille d'enfermer le niveau soit d'eau, soit à bulle d'air, dans une boîte construite de manière qu'il ne puisse pas s'y agiter; et que tous les endroits où il touchera soient garnis en velours, ou d'une autre étoffe équivalente, de crainte que le choc n'occasionne quelques dégats aux instrumens. Il en est de même du carton de mire, lequel étant verni exige des précautions qui conservent ses couleurs; la plus essentielle est de l'enfermer dans un étui de peau, on le garantit ainsi de tout frottement contre des corps durs.

Il faut encore avoir un sac de peau d'une grandeur suffisante, pour y enfermer la chaîne, les fiches, le ciseau, et même la petite hache, après avoir mis son tranchant dans un fourreau.

Lorsque l'on emploie le niveau d'eau simple, on doit se munir de deux fioles de rechange, et de cire, pour remplacer sur les lieux celles de l'instrument, dans le cas où elles viendraient à se casser en opérant. Il faut aussi se précautionner d'une bouteille pleine d'une eau colorée, pour pouvoir alimenter le niveau; car pendant les opérations, l'eau de cet instrument s'évapore; souvent d'ailleurs il s'en répand une partie, soit par filtration, soit dans le transport d'une station à l'autre.

Description et usage du Tèrazi, ou Niveau des Fontainiers de Constantinople.

(80 *bis.*) L'éditeur croit entrer dans l'esprit de l'ouvrage, en donnant ici la théorie du *Tèrazi*, seul

niveau connu des Turcs; et que M. le général Andréossi a décrit le premier, dans son *voyage à l'embouchure de la mer Noire*. Ce savant général s'est assuré par lui-même, de l'exactitude des opérations faites avec ce niveau, que le *Corps des Souïoldji*, ou Fontainiers de Constantinople, emploie exclusivement, pour exécuter les nombreuses conduites d'eau, destinées au service de cette vaste capitale.

Le *Tèrazi* n'est qu'un niveau à perpendicule ordinaire renversé, car le fil-à-plomb au lieu d'être situé comme dans celui-ci, au-dessus de la règle qui fournit la ligne de niveau, occupe dans le *Tèrazi* sa partie inférieure. En effet, cet instrument est composé d'un triangle ABC (*fig.* 62', 62''), isocèle renversé, au milieu M de la base AB duquel est attaché un fil-à-plomb F, battant contre son sommet C, qui en est le point le plus bas. Ce triangle est lui-même suspendu par deux crochets K, K', semblables, fixés symétriquement vers les extrémités de sa base, à un cordeau bmb' de soie tressée, de trente à quarante mètres de longueur; et dont chaque bout b, b', terminé par une boucle, est passé dans un des crochets k, k', glissant le long de perches graduées TP, T'P'. Ce cordeau et ces perches qui servent ainsi de support à l'instrument, forment avec lui un système TkKK'k'T', propre à déterminer la différence de niveau vrai, de deux points quelconques T, T', du terrain, par une heureuse application d'une remarque fort simple, que nous allons faire ressortir.

Supposons le cordeau $b\,m\,b'$ (*fig.* 63'''), de même grosseur, parfaitement homogène; et les crochets k, k', des perches, de niveau entre eux; le poids de la

matière du cordeau lui fera prendre une courbure convexe vers la terre, et la courbe $b\,m\,b'$, qu'il affectera, connue sous le nom de *Chaînette*, sera évidemment symétrique par rapport à la verticale $m\,p$ de son milieu m. Si donc on a déjà marqué ce point m d'une manière quelconque, par un nœud comme on le fait à Constantinople, en accrochant le tèrazi A B C (*fig.* 62′ 62″), et ramenant le milieu M de sa base, dans la verticale du milieu m du cordeau; si le tèrazi est homogène, il est clair que le fil-à-plomb F, battra sur le sommet C de son triangle; parce que tout sera symétrique de part et d'autre de la verticale $p\,m$, mentionnée, et pour le poids et pour la forme.

Ainsi toutes les fois que le fil-à-plomb F, battra sur le sommet C du tèrazi, on en conclura que les points k, k', des perches où aboutissent les boucles b, b', du cordeau, sont de niveau entre eux : ce qui donnera le moyen d'obtenir la différence de niveau vrai, des points T, T′, du terrain sur lesquels les perches reposent ; parce qu'en les tenant bien verticales, cette différence n'est que celle T′ t des longueurs T k, T′ k' de perche, comprises entre les points T, T′, du terrain, et les crochets k, k', qui retiennent les boucles b, b', du cordeau, qui leur correspondent.

(80 *ter.*) Au reste, il n'est pas indispensable que le tèrazi ait une forme régulière, ni qu'il soit homogène, pour être propre à niveler : il est seulement nécessaire que le cordeau soit de même grosseur, parfaitement homogène, et que son point milieu soit bien connu. En effet, supposons ses boucles attachées à des points de niveau entre eux, accrochons le tèrazi, et mettons le point de suspension de son perpendicule, dans la verticale du milieu du

cordeau. Le tèrazi prendra alors une position relative à sa forme et à la distribution de la matière qui le compose; et son perpendicule battra le long d'une certaine ligne, qu'on y pourra rendre sensible d'une manière quelconque. Cela fait, si l'on retourne le tèrazi sens devant derrière, il est évident que le fil-à-plomb battra encore sur la ligne qu'il avait indiquée dans sa première position, lorsqu'on replacera le point de suspension du perpendicule, dans la verticale du milieu du cordeau; parce que dans l'hypothèse actuelle, la chaînette est symétrique de part et d'autre de la verticale de son point milieu.

D'où il suit que pour obtenir la ligne de foi d'un tèrazi régulier ou non, il faudra suspendre d'abord le cordeau d'une manière quelconque; après quoi le tèrazi y étant accroché, comme il a été dit, son perpendicule fournira une ligne qui sera généralement différente de celle qu'il donnera en retournant le tèrazi sens devant derrière : alors on fera varier la position des crochets des perches, de manière à obtenir par de nouveaux retournemens, des lignes de plus en plus rapprochées, ce qui tendra évidemment à ramener les boucles du cordeau dans une même horizontale; et l'on continuera une semblable manœuvre jusqu'à ce que ces lignes se confondent en une seule, qui sera la vraie ligne de foi relative au tèrazi considéré.

Il pourra se faire que la ligne de foi ainsi obtenue, ne passe pas dans un endroit du tèrazi où l'on aurait désiré la voir passer, au sommet du triangle isocèle, par exemple, lorsque l'instrument aura cette forme. Voici le moyen d'en déduire alors une autre qui satisfasse à cette condition. A l'instant où l'on obtenait la première, les boucles du cordeau

étaient de niveau entre elles; les laissant donc dans cette position, il est clair que si par des mécanismes particuliers, à l'aide de vis de rappel, par exemple, les crochets du tèrazi, ou le point de suspension de son perpendicule, sont rendus mobiles le long de la base du triangle; on pourra changer la position de l'un, ou de plusieurs de ces points, de manière à forcer le fil-à-plomb à battre contre le sommet désigné du tèrazi; et tant qu'on ne dérangera pas les positions actuelles des pièces que l'on aura fait mouvoir, la nouvelle ligne de foi obtenue sera celle que devra couvrir le perpendicule, pour indiquer que les points de suspension des boucles du cordeau sont dans une même horizontale, ou de niveau entre eux.

Le tèrazi peut servir encore à trouver directement les points d'un terrain, qui sont de niveau avec un de ses points connu, ainsi que ceux qui sont plus élevés ou plus bas que lui d'une quantité donnée. Il suffit pour cela d'établir entre les portions de perches T k, T' k', inférieures aux points d'attache k, k', des boucles du cordeau, la relation convenable à la question que l'on se propose de résoudre; de poser sur le point connu la perche qui doit lui correspondre, et de promener l'autre perche sur le terrain, jusqu'à ce que le perpendicule du tèrazi batte sur la ligne de foi.

« On conviendra, dit M. le général Andréossi, qu'il « serait difficile de trouver un instrument moins « casuel, plus simple et plus portatif que le tèrazi. « Les procédés qu'il exige n'entraînent non plus « aucun embarras. Si à raison du peu de longueur « du cordeau, ils obligent de faire un plus grand « nombre de stations, d'un autre côté, ils donnent « les distances à mesure qu'on procède aux détails

» des opérations, ce qui est de quelque avantage » ainsi qu'on le verra dans la suite de ce traité. J'ajouterai à ces considérations, que partout on peut, au besoin, se fabriquer soi-même un térazi avec un morceau de planche; deux petites pointes convenablement fichées et recourbées, lui tiennent lieu de crochets; une troisième sert à suspendre son perpendicule : le cordeau de soie peut être remplacé par une bonne ficelle; et les perches graduées, par de simples bâtons, le long desquels on fait glisser à la main, les boucles de la ficelle. La ligne de foi sera d'ailleurs obtenue comme il a été enseigné.

Observations sur quelques-uns des instrumens précédemment décrits, et sur d'autres d'invention plus récente.

(81.) Tandis que je m'occupais de cet ouvrage, voulant lui donner un nouveau degré d'utilité, j'allai chez M. Le Noir, ingénieur en instrumens de mathématiques, de physique, d'astronomie, etc., attaché au dépôt de la marine; et qui, depuis plus de 40 ans, travaille à perfectionner les instrumens relatifs à ces différentes sciences. J'ai pu juger par moi-même de la bonté de ceux que cet artiste a imaginés ou modifiés, construits ou réparés, et dont on se sert pour les observations de tout genre, tant sur mer que sur terre. La longue pratique qu'il a de son art, ses réflexions et ses calculs, l'ont mis à même de rectifier les erreurs qu'avaient pu commettre les premiers constructeurs d'instrumens; et de rendre, par ce moyen, le travail des observations plus simple et plus facile.

M. Le Noir a profité, en outre, des idées que lui ont fournies plusieurs géomètres, qui éprouvaient des difficultés à se servir d'instrumens mal

construits, ou susceptibles d'être simplifiés. Le grand nombre des ouvrages qu'il a exécutés, soit pour la marine, soit pour des membres de l'Académie des sciences et de l'Institut, est un sûr garant de ses talens, et de la confiance qu'il mérite à tous égards. Je vais faire connaître son opinion sur quelques-uns des instrumens dont j'ai donné la description et indiqué l'usage.

Le premier instrument que M. Le Noir ait connu, en 1769, est *Le Niveau de Picard*, décrit (28), qui, à cette époque, jouissait d'une faveur méritée. Il était simple et donnait assez de justesse aux opérations du Nivellement; mais, comme on était obligé de donner à cet instrument trois ou quatre pieds de grandeur, il devenait par là trop embarrassant.

Le Niveau d'Huyghens, décrit (36), n'est au fond qu'un fil-à-plomb convenablement modifié. M. Le Noir a pensé que l'usage de cet instrument entraînait un grand embarras, attendu que l'appareil exigeait, entre autres objets, un plomb pesant environ six livres, nageant dans un réservoir ou une cuvette remplie d'huile, et suspendu à l'espèce de chaîne qu'il devait maintenir dans la position verticale.

Vers le même temps (1769), M. *Le Moine* fit construire un niveau dans le genre de celui de Picard. Il avait environ dix-huit pouces de dimension, portait un garde-filet en cuivre, avait un pied mécanique, et une lunette achromatique. On employait cet instrument avec une grande facilité.

(82.) En 1770, M. Le Noir fut chargé de réparer un instrument à niveler, fait en Angleterre, par *Ramsden*, c'est le premier niveau à bulle d'air, qu'ait vu l'artiste français; il le considéra pour sa simplicité, et pour l'exactitude des observations, comme le type original des bons instrumens propres au

Nivellement. La bulle d'air avait une mobilité de six lignes; son tube était attaché parallèlement au corps de la lunette, avec rappel; la lunette était garnie à ses extrémités, de cylindres de métal; le corps de l'instrument était composé d'une forte règle de cuivre, mobile au milieu par le moyen d'une charnière. A la partie supérieure de la douille, prise à la charnière avec la règle de l'instrument, se trouvaient deux branches aux bouts desquelles on avait placé deux vis, qui poussaient contre la règle pour la mettre dans une position horizontale. Les distances des vis boutantes au centre de la charnière étant chacune de trois pouces, maintenaient l'instrument rectifié d'une manière invariable; à l'extrémité de la règle étaient placées des fourchettes qui soutenaient la lunette. A cette époque, on ne rendit pas à cet instrument toute la justice qu'il méritait.

M. *Floquet*, chargé alors du Nivellement du canal de Provence, fit faire à Paris un Niveau, composé de deux lunettes, contenues dans un gros tuyau de cuivre, ayant un mouvement circulaire pour le renversement des lunettes, et un niveau à bulle d'air fixé sur le gros tuyau. Cet instrument, très-considérable, très-embarrassant, difficile à rectifier, n'a pas eu de succès.

Canivet fit plusieurs niveaux dans le même genre. Ces instrumens se renversant par un mouvement circulaire du tuyau qui les renfermait, prirent faveur. Ils offraient l'avantage d'observer promptement deux points opposés; mais on ne pouvait obtenir l'hörizon, parce que l'axe commun aux deux lunettes, n'était point parallèle au niveau. Parfois les lunettes étaient posées sur une plaque de cuivre avec des rappels qui servaient à les maintenir

parallèles entre elles; et il y avait un mouvement au réticule pour les ajuster sur le même point.

Quelles que fussent les diverses constructions d'instrumens à deux lunettes, on était toujours obligé de faire une observation à deux distances égales, à partir du centre de l'instrument; de transporter ensuite ce dernier à l'un de ces points, pour rectifier l'horizon sur l'autre. Cet inconvénient fit sentir la nécessité de recourir à des constructions telles, qu'on pût déterminer l'horizon d'un seul côté; et qu'il suffit de retourner la lunette sur ses supports, pour avoir deux observations opposées, et s'assurer du parallélisme de l'axe de la lunette avec le niveau.

Enfin, l'instrument de Ramsden reparut avec des changemens faits par M. *de Chézy*, qui le rendaient non plus simple, ni plus exact, mais un peu plus commode. Par exemple, les vis boutantes du constructeur anglais exigent l'emploi de deux mains pour la promptitude de l'opération : ayant trouvé cette manœuvre gênante, M. de Chézy adopta une vis d'engrénage, au moyen de laquelle on ne se sert que d'une main. Il donna un tirage au réticule pour détruire la parallaxe, et un à l'oculaire pour le mettre au foyer des fils. Cette nouvelle construction avait des avantages réels, mais l'expérience a prouvé que la vis d'engrénage qui fait mouvoir le corps entier de l'instrument, acquiert bientôt trop de jeu, ce qui occasionne un ballotage qui nuit essentiellement à la rectification de l'instrument. On a encore observé que la vis ne contient l'instrument dans sa position rectifiée que par la pression du ressort; que le mouvement qui est imprimé à la vis soit en avant, soit en arrière, fait effort sur chacun des côtés, et tend toujours à se rendre du côté

opposé où s'est fait l'effort. Le constructeur anglais avait donc raison d'employer les vis boutantes qui ne peuvent avoir ni ballotage, ni élasticité. Il importe encore d'empêcher le mouvement du réticule qui devient de plus en plus grand, à cause du frottement répété que ce réticule éprouve, quand même il aurait été bien ajusté. Car si peu de jeu qu'ait un tuyau qui porte les fils d'une lunette, il en résulte des erreurs sensibles. Quand on construit, l'on doit éviter les grandes difficultés dans l'exécution; c'est aussi le moyen de s'assurer qu'un instrument ne produira que de bons effets.

Peu après le niveau de Ramsden, il en parut un de construction également anglaise, semblable à celui-là pour le corps de la lunette et pour son niveau, mais un peu plus compliqué. Il était monté sur un pied mécanique, qui pouvait faire un tour d'horizon, sans qu'on eût besoin de toucher à l'instrument pour tous les points à observer sur sa circonférence, ce qu'on appelle *le collage* de l'instrument. Pour mettre l'axe de rotation dans une position bien verticale, on se servait encore de vis boutantes, comme du meilleur moyen d'assurer l'invariabilité du niveau après qu'il a été rectifié. Celui-ci fut mis en vogue par M. *de Bellery*, qui trouva un avantage réel à se servir d'un instrument, avec lequel on faisait un tour d'horizon sans avoir besoin de le rectifier à chaque station, comme il fallait nécessairement le faire en employant le niveau de *Chézy*.

Les deux espèces d'instrumens ci-dessus décrits, ont eu pendant long-temps un grand succès, dû surtout à la réputation de leurs auteurs. Les ingénieurs se sont facilement habitués à l'usage des vis de rappel qu'ils trouvaient très-commode. Cepen-

dant, il y aura des inconvéniens réels et graves, tant qu'on n'aura pas adopté les vis boutantes qui sont exemptes d'aucune réparation jusqu'à leur destruction totale, et dont l'avantage est incontestable.

Le dernier instrument approuvé par le Conseil des ponts et chaussées, a été présenté par M. *Egaux*. Il ressemble pour les dimensions à celui de *Bellery*, dont il diffère en ce que le niveau, au lieu d'être attaché à la lunette, est placé sur la branche de l'instrument, comme dans les niveaux à pinnules et les clitomètres. L'auteur se sert de vis boutantes; mais il n'en emploie que deux, au lieu des quatre de *Ramsden*, ce qui exige l'usage d'une seule main. L'une de ces vis agit sur un ressort opposé, et comme la tension du ressort réagit contre elle, par ce moyen on ne perd aucun temps: à moins que, comme il arrive assez fréquemment, la vis n'ait un long intervalle à parcourir; car quand le ressort est forcé de trop fléchir, il perd son élasticité et, le cas contraire arrivant ensuite, il n'a plus assez de force pour contenir l'instrument avec une stabilité suffisante. L'emploi des ressorts peut donc être considéré ici comme un vice de construction. M. *Egaux* a eu pour but principal d'éviter la peine d'une vérification rigoureuse; il a conservé tous les rappels pour en faire une générale. Le niveau n'étant plus joint à la lunette, l'opération consiste à s'assurer d'abord que ce niveau fasse un angle droit avec l'axe de rotation de l'instrument, la bulle d'air étant dans le milieu; on observe ensuite un point sur la mire; puis on retourne l'instrument dans un sens opposé, la bulle d'air restant à la même place; on a généralement un autre point de mire, dont la différence de hauteur avec le premier provient du défaut de parallélisme de l'axe

de la lunette avec le niveau. Après cela, on tourne la lunette sur son axe, en lui faisant parcourir une demi-circouférence; le fil horizontal se trouve alors dans une position opposée, ce qui donne encore une différence; de sorte que celle qui existe entre l'axe de la lunette et celui des supports étant bien connue, on en peut conclure le point de l'horizon. La seule erreur qui ne saurait être vérifiée dans cet instrument, est la différence du calibre des collets de métal ou supports mentionnés; si celui du côté de l'objectif a son échancrure cylindrique d'un plus grand rayon que l'autre, la lunette pointera toujours au-dessus de l'horizon, elle pointera au-dessous, lorsque ce rayon sera au contraire plus petit; sans qu'on puisse, dans l'un ni l'autre cas, savoir de quelle quantité.

Tels sont les trois instrumens qui ont été les plus accrédités jusqu'à ce jour; on voit qu'ils ne sont pas sans défaut. M. Le Noir a gardé le silence sur cinq ou six autres constructions, faites d'après les idées particulières de différens ingénieurs; qui n'ont eu de succès que dans leurs mains, et dont la généralité des niveleurs n'a pu s'accommoder.

(83.) En 1780, époque de la construction des premiers niveaux à bulle d'air, dont M. Le Noir s'est occupé, il prit pour modèle les instrumens anglais. Il choisit des fioles de niveau très-sensibles, et s'aperçut que, dans le niveau simple, qui n'a pas de point d'arrêt pour contenir la bulle d'air au même endroit de la circonférence de son tube, comme en ont les niveaux anglais, et celui de Chézy; il s'aperçut, dis-je, qu'un peu de déviation changeait la régularité de l'instrument. Il imagina donc de poser un petit niveau en croix sur le corps de la lunette; par ce moyen, la bulle d'air occupait toujours la même place dans le tube, et M. Le Noir

obtint une parfaite rectification. Il croit que Chézy avait reconnu cet inconvénient, et que c'était ce qui lui avait donné l'idée de travailler l'intérieur des tubes, pour leur donner une courbure régulière dans toute la circonférence; car alors la déviation n'entraîne aucune erreur, mais on emploie plus de temps et plus de frais pour ce genre de travail, qu'il n'en faut pour poser un petit niveau de trois pouces sur la lunette. Le niveau simple est toujours bon dans les deux cas; il n'a d'autre inconvénient que de devoir être rectifié à chaque station.

Le niveau de Chézy pourra s'employer utilement, si le rappel à vis d'engrénage est exécuté avec un grand soin, si le tube est bien travaillé, et si le double tirage de l'oculaire est parfaitement ajusté. La différence qui existe entre cet instrument et le niveau anglais, c'est que dans ce dernier le mouvement de rappel s'opère, comme on l'a déjà dit, par des vis boutantes, lesquelles servent également quoique peu soignées. Le réticule fixé au corps de la lunette, n'est sujet à aucune variation; peu importe que le tuyau de l'oculaire soit plus ou moins juste dans son frottement; l'addition d'un petit niveau sur le corps de la lunette, donne à cet instrument le plus grand mérite du côté de la simplicité; mais il présente le même inconvénient que tous les instrumens à collets cylindriques, dont les diamètres doivent être parfaitement égaux : il n'est point de méthode qui puisse prouver rigoureusement la justesse de ces sortes d'instrumens; le seul moyen d'y réussir jusqu'à un certain point, serait de placer un niveau à bulle d'air sur une règle qui se poserait sur les cylindres en les retournant.

(84.) M. Le Noir fut chargé, en 1787, de construire pour le Nivellement du canal de Murcie, un ins-

trument à niveau, d'après les principes de Picard. Cet instrument était composé d'un garde-filet de cinq pieds de long, fixé à la branche verticale d'une croix en fer; sur la branche horizontale fut posée une lunette achromatique de quatre pieds, avec un rappel près l'oculaire, pour la rectifier à angle droit avec le fil-à-plomb. Les extrémités du garde-filet furent garnies d'un petit limbe de trois degrés, divisé en minutes. Deux cônes creux furent fixés aux mêmes extrémités, pour recevoir deux plombs parfaitement raudés dans lesdits cônes; un fil d'argent contint ces plombs à la distance convenable pour laisser assez de liberté aux oscillations du plomb inférieur.

Après l'observation faite, une petite plaque mobile enlevait le plomb, le faisait entrer dans le cône creux où il était maintenu, et le garde-filet se renversait avec le corps de l'instrument; en retirant la plaque mobile on laissait descendre le plomb opposé, qui oscillait sur le limbe au moyen d'une fente pratiquée à la pointe du cône creux. On était dispensé d'examiner le fil dans sa partie supérieure, parce que la justesse et la nature du cône le rangeaient toujours sur le même point. Le corps de l'instrument fut posé sur un trépied en fer qu'on pouvait démonter et remonter à volonté. Les trois vis du pied posaient sur des lames de tôle de cinq à six pouces de diamètre, afin d'occuper sur le terrain une surface suffisante pour augmenter la stabilité de l'instrument, et donner plus de liberté au mouvement des vis. La partie supérieure du pied fut terminée par une forte douille horizontale, qui recevait l'axe pratiqué au centre de gravité de la croix pour le mouvement vertical; ce mouvement s'opérait avec une grande facilité, parce que, quand

le garde-filet était à peu près vertical, une agraffe en retenait la branche, et au moyen d'une vis de rappel, on ajustait très-aisément le fil-à-plomb. Cet instrument n'a d'autre inconvénient que son volume et son poids; il ne peut d'ailleurs en exister de plus parfait pour niveler.

(85.) En 1791, M. Le Noir construisit sur ses propres données, un instrument à bulle d'air, composé de deux lunettes achromatiques de dix-huit pouces de long, avec un support à mouvement à vis de rappel, et à angle droit, en deux sens. Dans cette construction, il prit pour principe d'employer des arcs de cercle du plus grand rayon possible; il fit usage de pas de vis forts et profonds. C'est le premier mouvement de ce genre où il ait trouvé le moyen d'entrelacer deux arcs de cercle à angle droit, dont la distance des centres ne différât que de l'épaisseur des vis, d'environ six à huit lignes. Le genou à *caler* est un des mieux composés, et peut servir à toute espèce d'instrument. M. Le Noir ne dissimule pas qu'on risque de rendre le sien défectueux en employant des vis de rappel à engrénage, auxquelles l'usage fait gagner en jeu.

Le corps de cet instrument est composé d'une plaque de cuivre de vingt pouces de long, de quatre de large, et de deux fortes lignes d'épaisseur; sur un côté de la plaque sont deux supports à fourchettes dont un est rendu mobile par une vis de rappel; une lunette à collet de métal pose sur la même plaque, comme dans les niveaux ordinaires; sur le côté opposé et à l'extrémité de la plaque, l'artiste a placé une seconde lunette, mobile sur son centre, ayant dix-huit pouces de rayon; elle fait fonction d'alidade et décrit sur le limbe, par une vis de rappel, un arc de trois degrés : cette vis fait

fonction de micromètre; elle subdivise les parties du vernier de cinq en cinq secondes. Le rayon de dix-huit pouces se trouve terminé par une tangente divisée en centièmes de ligne; de manière que chaque partie très-sensible donne une ligne d'élévation ou d'abaissement pour une distance de vingt-cinq toises. La lunette posée sur les collets donne l'horizon, et la lunette mobile étant mise sur zéro, se rectifie à l'horizon par le rappel du réticule. Le niveau à bulle d'air de cet instrument est sur la plaque entre les deux lunettes, avec une vis de rappel. Comme les lunettes peuvent se contrepointer, il est facile, dans le cours des observations de la journée, de connaître les variations des réfractions du nord au sud, ou de l'est à l'ouest, et les mesurer s'il en existe. Cet instrument qu'on peut placer au premier rang parmi ceux qui ont été imaginés pour le Nivellement, a mérité les éloges de M. Van-Vandenne, qui en a fait l'acquisition pour les travaux de la Hollande.

Ayant eu très-souvent occasion de discuter avec des Ingénieurs des ponts et chaussées, sur les difficultés que l'on éprouve à vérifier les instrumens employés aux Nivellemens, M. Le Noir a été déterminé par leurs observations à construire un niveau exempt de vérification. La chose était plus simple qu'on ne le croyait. Cet instrument, fait depuis plusieurs années, est encore peu connu. Il se compose d'une plaque de cuivre comme celle du niveau précédent, et d'une lunette mobile qui pose sur une alidade fixée au centre de la plaque, laquelle est un segment de cercle de 60°. L'alidade porte à chacune de ses extrémités un vernier, avec lequel on peut faire une estime de cinq secondes, et une vis de rappel comme au cercle

répétiteur. Un niveau à bulle d'air est adapté à la plaque; et le tout est supporté par un pied roulant sur un axe, avec des mouvemens pour caler l'instrument dans toutes ses positions. On opère comme avec le cercle répétiteur par une double distance au zénith, ou par la différence à 180°, ce qui est la même chose. Il en résulte une observation très-prompte et sans erreur sensible, parce que l'exactitude des divisions met l'observateur à même de faire une estime de cinq secondes. La composition de l'instrument est telle, que l'on peut le rectifier pour l'horizon, en faire le tour entier, et observer les hauteurs jusqu'à trente degrés d'élévation. On pourrait aussi se servir de cet instrument comme d'un des meilleurs niveaux de pente, en rendant son plan parfaitement vertical.

(86.) Comme il est rare aujourd'hui, que l'on fasse usage d'instrumens d'un grand volume, les Nivellemens ne se faisant plus par de très-longues stations, M. Le Noir s'est attaché particulièrement aux petits instrumens. Les plus grands sont ceux de fabrique anglaise, auxquels il a fait un changement très-avantageux pour le mouvement de rotation. Les Anglais ont toujours employé des axes trop courts, et frottant cuivre contre cuivre; le mouvement ne peut, en conséquence, être stable ni régulier, et l'on est obligé d'enduire l'axe, d'un corps gras composé de cire et d'huile, afin d'éviter cet inconvénient. M. Le Noir a imaginé un mouvement à vis boutantes, situées, pour plus de facilité, dans le sens horizontal; elles agissent à l'extrémité d'une douille qui contient l'axe de l'instrument, et servent à donner à cet axe une position verticale, il est en acier, et la douille est en cuivre; l'un et l'autre ont environ quatre pouces de long;

L'axe parfaitement raudé, a un mouvement permanent et d'une régularité imperturbable. Le frottement de l'acier poli contre le cuivre ne se gripe jamais, ainsi on peut faire un tour d'horizon sans éprouver aucun dérangement. La lunette est achromatique, et a dix-huit pouces de long; toute la composition de l'instrument est relative à cette dimension. Les ingénieurs des ponts et chaussées, et les ingénieurs militaires, ainsi que les astronomes, demandent une précision rigoureuse. Or, l'expérience a prouvé, que pour bien estimer plusieurs parties contenues dans l'espace d'un centimètre, à la distance de cent mètres, il fallait une lunette achromatique d'un demi-mètre de long, et qui grossît vingt fois l'objet.

Je crois inutile de parler des niveaux d'eau. M. Busson en a suffisamment traité dans son ouvrage sur le Nivellement, où l'on trouve, entre autres détails intéressans, une description très-ample d'un de ces niveaux perfectionné en Piémont. Tout en reconnaissant l'utilité des niveaux d'eau de cuivre ou de fer-blanc, M. Le Noir a considéré que plusieurs personnes très-habiles étaient privées, par la faiblesse de leur vue, des avantages de cet instrument. C'est ce qui lui en a fait imaginer un petit à lunette, du même prix que le niveau d'eau en cuivre, et qui convient à toutes les vues.

Cet instrument est composé d'un plan en cuivre, supporté par une douille et des vis boutantes, avec lesquelles on donne à ce plan, au moyen d'un niveau à bulle d'air, une position horizontale dans tous les sens. On place dessus une lunette d'épreuve dont l'axe optique est parallèle à sa base, ensorte que le rayon visuel se trouve parallèle au plan. Je ne sache point qu'un instrument aussi

simple que celui-ci, et donnant des résultats aussi certains, ait jamais été construit. Il est très-portatif, et excellent pour les opérations du second ordre.

La méthode d'observer les différences d'après les principes de M. Egaux, ayant été reconnue bonne, M. Le Noir a construit pour cette opération un niveau d'une grande simplicité. Posant un niveau à pinnules sur une règle, comme celui de M. Egaux, il a mis sur les pinnules une lunette en place de visière; cette lunette se retrouve dans les autres instrumens à niveau. Celui-ci convient parfaitement au genre d'observation par différence; il coûte moitié moins que celui de M. Egaux, et remplit le même objet.

M. Le Noir cite, au nombre des instrumens en usage dans le Nivellement, le niveau de pente, que l'on nomme *Niveau de pente de Chézy*. Il a été très-bien construit dans son origine, et n'a pas changé.

Il résulte des observations précédentes, 1°. que les instrumens du premier ordre, qui portent des lunettes achromatiques d'un demi-mètre de long, doivent grossir vingt fois au moins, et être sans couleur; 2°. que la bulle d'air doit parcourir environ vingt millimètres pour chaque minute de degré; 3°. que le corps de la lunette doit être d'égale pesanteur d'un point pris au milieu de ses collets; 4°. que le réticule doit être fixé à la lunette, et la parallaxe se corriger par le mouvement de l'objectif; 5°. que tout ce qui est rappel doit être facile dans ses mouvemens, et d'une grande solidité; 6°. enfin, que l'erreur dans le résultat de l'observation doit, en général, être de moins de cinq secondes.

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE.

SECONDE PARTIE.

CHAPITRE PREMIER.

Pratique du Nivellement topographique.

(87.) D'après les détails que contient la première partie de cet ouvrage, et qui roulent sur la description, la vérification et la rectification des instrumens le plus en usage pour niveler, la pratique du Nivellement ne peut présenter aucune difficulté. Ce qui va suivre mettra les personnes instruites dans la géométrie, à même d'operer avec toute l'exactitude possible.

On distingue deux sortes de *Nivellement topographique, le simple* et *le composé.*

Toutes-les fois que par *un seul* ou par *deux coups de niveau donnés au même lieu, on peut déterminer la différence de hauteur de deux points, l'opération exécutée s'appelle Nivellement simple;* mais lorsque les deux points à niveler sont placés au delà de l'étendue du rayon visuel; ou bien quand le terrain présente, soit beaucoup d'inégalités, soit une pente considérable, on est obligé de lier les deux points proposés par *une suite de Nivellemens simples;* ceux-ci *constituent alors un Nivellement composé.*

La règle fondamentale du Nivellement topographique composé est, que *la différence de niveau entre deux points donnés, égale celle qui se trouve*

entre la somme des hauteurs de mire arrière, et la somme des hauteurs de mire avant.

Dans la pratique du Nivellement, on considère comme dans la construction d'une courbe, deux séries de lignes droites se coupant à angles droits, les *abscisses*, et les *ordonnées*. Une ligne horizontale est l'axe des abscisses, et une verticale est celui des ordonnées. Les abscisses sont comptées à partir du point de départ sur la première de ces lignes, et les ordonnées, ou les distances des points nivelés à cette ligne, se comptent sur les verticales correspondantes à leurs abscisses respectives. La détermination des abscisses est très-simple puisqu'elle se mesure avec une chaîne ou une perche; mais il n'en est pas de même des ordonnées. Leur exacte détermination demande des instrumens bien rectifiés, des opérations faites avec soin, et une foule de précautions dont on n'acquiert la connaissance que par un long usage.

Du Nivellement simple.

Déterminer la différence de Niveau de deux points au moyen du Niveau d'eau, ou du Niveau à bulle d'air.

(88.) La méthode la plus simple et en même temps la plus exacte, est de placer le niveau CP (*fig.* 48), à peu près à égale distance des deux points A et B donnés, afin d'éviter les corrections que nécessiteraient la réfraction, et la différence du niveau apparent au niveau vrai. Le point P de station peut, sans inconvénient, être hors de la droite A B. Supposant que cette circonstance ait lieu, et que la mire soit placée verticalement au point A, on fera, à l'aide de signes convenus, monter ou descendre le voyant

jusqu'à ce que le rayon visuel passe exactement par son milieu a; c'est ce qu'on appelle *donner le coup de niveau d'arrière*. Ensuite on écrira sur le brouillon du Nivellement la hauteur A a, ou la cote du point A trouvée. Sans déranger, le pied de l'instrument, ni perdre de temps, on fera transporter la mire au point B, et on répétera la même opération qu'au point A; c'est-à-dire, qu'on donnera *le coup de niveau d'avant*. Ayant obtenu la hauteur B b, ou la cote du point B, on l'enregistrera comme la précédente, afin de pouvoir la retrouver au besoin. Si ces deux cotes sont égales, les deux points A et B seront de niveau; mais si la première cote A a = 1,^{m}536, par exemple, et la deuxième B b 0,^{m}95, le point A sera plus bas que le point B, de la quantité

$$A\,a - B\,b = 1{,}^{m}536 - 0{,}^{m}95 = 0{,}^{m}586.$$

Il est évident que le point qui aura la plus grande cote sera le plus bas.

Donc *dans un Nivellement ascendant simple, ou à une seule station, la différence de niveau des deux termes du Nivellement se trouve en retranchant la hauteur de mire avant, de la hauteur de mire arrière.*

(89.) J'ai supposé que l'opération commençait en A et se poussait vers B, ou que A était l'arrière et B l'avant, et que le terrain s'élevait de l'arrière à l'avant. Si au contraire on commençait à opérer vers B, et qu'on retournât vers A, ou que le terrain s'abaissât de l'arrière à l'avant, il faudrait retrancher A a de B b; dans cette circonstance le reste serait négatif, et on aurait d'après les données ci-dessus,

$$B\,b - A\,a = 0{,}^{m}95 - 1{,}^{m}536 = -0{,}^{m}586.$$

D'où l'on conclura que *si le terrain baisse en*

s'avançant, la hauteur de mire avant sera plus grande que celle arrière, et la différence sera négative. La plus grande hauteur de mire répond toujours au point le plus bas, et la moindre au point le plus élevé.

Lever le profil d'un terrain, avec le Niveau d'eau ou avec le Niveau à bulle d'air; moyen de le rapporter sur le papier.

(90.) Quand le terrain est inégal entre les points A et B (*fig.* 49), et que l'on veut en avoir le profil, on fait placer successivement la mire aux points A, C, D, E, B, pour en avoir les cotes; on mesure la hauteur P *o* de l'instrument supposé placé sur la droite A B; enfin, on mesure encore les distances horizontales *ac*, *cd*, *do*, *oc*, *eb*; il est d'usage de faire ces distances égales entre elles; lorsque le terrain est légèrement ondulé.

Si l'on a un porte-mire intelligent, on le chargera d'écrire lui-même les cotes sur le registre; ce parti devient rigoureusement nécessaire quand on ne peut correspondre que par signes avec le porte-mire. Cependant le niveleur ne doit point négliger de recueillir de son côté toutes les mesures; il doit même, s'il en a le temps, faire le figuré du profil, afin de pouvoir s'assurer ensuite s'il règne un accord parfait entre ses notes, et celles de son porte-mire.

Le levé d'un profil étant fait, on le rapporte d'après l'échelle adoptée; mais quand les cotes verticales ou ordonnées sont très-petites par rapport aux distances horizontales ou abscisses, on les augmente toutes de la même quantité, afin que l'espace entre la ligne horizontale et celle qui repré-

sente le terrain, permette d'écrire plus aisément les hauteurs dont il s'agit : c'est aussi pour cela, que l'on rapporte souvent les hauteurs d'après une échelle plus grande que celle dont on fait usage pour fixer les distances horizontales : ordinairement on prend l'échelle des hauteurs multiple de celle des longueurs.

Déterminer, à l'aide du Niveau à perpendicule, la différence de Niveau de deux points dont on connaît la distance horizontale; et en déduire la pente de la ligne qui les joint.

(91.) Soient X, Y (*fig.* 50), les deux points du terrain assignés : devant résoudre les questions proposées avec l'équerre ABC, décrite (62), posons-la en X, sur son trépied XD; et dirigeons son alidade AB, tournée à la droite de l'observateur, vers une mire placée en Y. Lorsque le rayon visuel aboutira au milieu H, du voyant, et que le fil-à-plomb CF sera en repos, on pourra lire le nombre que ce fil indiquera en E, sur la droite AB; et ce nombre diminué de 1000 exprimera, comme on sait (62), la longueur de la ligne DE, en millièmes de CD. On se rappelle de plus, que si le résultat de la soustraction est positif, le rayon visuel s'élève sur l'horizon, en avant de l'observateur; tandis qu'il s'abaisse au contraire si ce résultat est négatif.

Cela posé, la figure indique clairement que la différence de niveau cherchée $YY' = HY' - HY$; mais $HY' = Hm + mY'$ et $mY' = DX$, donc en substituant

$$YY' = Hm + DX - HY.$$

Or, le triangle DmH rectangle en m, est semblable au triangle CDE rectangle en D; parce que

leurs angles H, E, sont égaux comme alternes internes, donc on a la proportion

$$CD : DE :: Dm : Hm = \frac{DE . Dm}{CD}$$

donc enfin la différence de niveau cherchée

$$YY' = \frac{DE . Dm}{CD} + DX - HY.$$

Pour appliquer cette formule, supposons que la distance $Dm = 150,^m$ que la hauteur de l'instrument $DX = 1,^m 21$, que le fil-à-plomb y indique en E le nombre 1380, et qu'enfin la hauteur de la mire $HY = 2,^m 335$. Dans ce cas $DE = 380$, et l'on a

$$YY' = \frac{380 . 150^m}{1000} + 1,^m 200 - 2,^m 335 = 55,^m 875$$

pour la différence de niveau demandée.

Quant à la pente par mètre, de la ligne XY, il est bien facile de l'obtenir maintenant; car on a généralement $XY' : YY' :: 1^m :$ la pente par mètre $= \frac{YY'}{XY'} 1,^m$

Valeur, qui pour être calculée, n'exige que la connaissance de celle de YY' que l'on sait obtenir.

Dans l'exemple précédent on a trouvé $YY' = 55,^m 875$, et par hypothèse $XY' = Dm = 150^m$; donc la pente par mètre, de la ligne XY, est de $\frac{55,875}{150} 1^m$, c'est-à-dire, $0,^m 3725$.

Si l'on avait soin de prendre la hauteur HY de la mire, égale à celle DX de l'instrument, les formules précédentes seraient plus simples. La valeur de la différence de niveau serait seulement $YY' = \frac{DE . Dm}{CD}$; et celle de la pente par mètre $\frac{DE}{CD} 1^m$, dont les facteurs sont fournis par le niveau à perpendicule.

On a supposé dans ce qui précède, que les verticales des points X, Y, sont parallèles. On a pu le faire sans erreur sensible à cause du peu de longueur de leur distance, relativement à celle du rayon terrestre. On n'a pas non plus tenu compte de la réfraction, parce qu'elle n'écarte que de o,^{m}001, de la ligne DH, le point de mire du voyant, lors même que cette ligne DH, = 300^{m} (*table* 11.)

Déterminer la pente de la ligne droite qui joint deux points donnés du terrain.

(92.) On peut encore résoudre ce problème avec un niveau ordinaire; car en le plaçant vers le milieu de la droite proposée, on pourra prendre avec une mire, les hauteurs du rayon visuel horizontal fourni par le niveau, au-dessus des deux extrémités de cette droite donnée; la différence des deux hauteurs de mire obtenues, étant évidemment la pente de la ligne sur toute sa longueur, en la divisant par la distance horizontale de ses extrémités, on aura la pente par mètre de la ligne donnée.

Le niveau de pente de Chézy, peut servir à résoudre la même question comme avec un niveau ordinaire; mais il est beaucoup plus simple de s'en servir conformément à sa destination, et ainsi qu'on l'a déjà enseigné (65 *bis*); parce qu'alors il n'est plus nécessaire de connaître la distance horizontale des deux points du terrain, qui déterminent la ligne considérée.

Du Nivellement composé.

(93.) 1er *cas*. Supposons que l'on veuille en partant du point A (*fig.* 51), niveler la montée AD, dont le point culminant D, est plus élevé au-dessus de A,

M 4

que la plus grande hauteur de mire; il est évident qu'il sera nécessaire de faire alors plusieurs stations. Supposons donc qu'il en faille une sur chacun des espaces AB, BC et CD. Concevons par les quatre points A, B, C, D, une verticale et une horizontale ou ligne de niveau; DA′ = NA sera la différence de niveau cherchée, entre les deux termes A et D du Nivellement. Or DA′ = AN = AF + FG + GN; il ne s'agit donc plus que de trouver la valeur de ces trois dernières lignes.

Le rayon de visée KK′ donne à la première station, AF = AK − BK′.

Le rayon de visée LL′ donne à la seconde station, BG′ = BL − CL′; mais BG′ = FG, donc FG = BL − CL′.

Enfin le rayon de visée MM′ donne à la troisième station, CH = CM − DM′; mais CH = GN, donc GN = CM − DM′.

Substituant chacune de ces trois valeurs, dans l'expression de AN, on aura, DA′ = AN = AK + BL + CM − BK′ − CL′ − DM′,
ou DA′ = (AK + BL + CM) + (BK′ + CL′ + DM′). Or les trois premiers termes sont les hauteurs de mire arrière, et les trois derniers celles de mire avant.

Donc, *dans un Nivellement composé de plusieurs stations sur un terrain qui s'élève continuellement, la différence de niveau entre les deux termes extrêmes se trouve, en retranchant la somme des hauteurs de mire avant, de celle des hauteurs de mire arrière.*

2[e] *cas*. S'il s'agit de déterminer la différence de niveau du point D, au point E, sur une descente DE, et qu'il faille faire pour cela trois stations, par exemple, une sur chacun des espaces DO, OP, PE;

Par les quatre points D, O, P, E, on concevra, ainsi qu'on l'a déjà pratiqué, des verticales et des horizontales ou lignes de niveau. La différence de hauteur entre D et E, est $DE' = ES = SR + RQ + QE$.

Or on a $SR = OH' = OM'' - DM'$,
$RQ = PV = PT' - OT$,
$QE = EX - PV'$.

Donc en substituant comme ci-dessus,
$DE' = ES = (OM'' + PT' + EX) - (DM' + OT + PV')$.
c'est-à-dire, que *la différence de niveau entre les deux termes extrêmes d'un Nivellement sur un terrain qui s'abaisse continuellement, est égale à la somme des hauteurs de mire avant, moins celle des hauteurs de mire arrière.*

L'équation précédente pouvant être mise sous la forme $-DE = -ES = (DM' + OT + PV') - (OM'' + PT' + EX)$.

Il est clair que l'on pourra suivre encore ici la règle donnée dans le cas précédent, pour obtenir la différence de niveau cherchée; car au signe près on arrivera au même résultat, et ce signe indiquera la circonstance de l'abaissement du terrain en avant du niveleur.

(94.) Appliquons ce qui vient d'être dit au Nivellement de la butte ADE. Soient A, E, les deux termes de l'opération, et supposons qu'il faille faire, pour franchir la butte, trois stations ascendantes sur les espaces AB, BC, CD; suivies de trois autres stations descendantes sur les espaces DO, OP, PE. En concevant des horizontales et des verticales par les points A, B, C, D, O, P, E, on a déjà trouvé $AN = (AK + BL + CM) - (BK' + CL' + DM')$ et $ES = (OM'' + PT' + EX) - (DM' + OT + PV')$.

Or il est évident que la différence de niveau des points A, E, n'est que AN — SE, puisque NS est une horizontale; donc cette différence

$$AZ = EY = (AK + BL + CM + DM' + OT + PV') - (BK' + CL' + DM' + OM'' + PT' + EX).$$

(95.) Le premier terme de cette équation est la somme des hauteurs de mire arrière, et le second celle des hauteurs de mire avant.

Donc, dans un Nivellement à plusieurs stations, sur un terrain où il y a des montées et des descentes, *la différence de niveau entre les deux termes du Nivellement, est toujours égale à la somme des hauteurs de mire arrière, moins la somme des hauteurs de mire avant.*

D'où il résulte, 1°. que si la somme des hauteurs de mire arrière, est plus grande que celle des hauteurs de mire avant, le terme de départ sera plus bas que le terme d'arrivée.

2°. Que si la première somme est moindre que la seconde, le premier terme sera plus élevé que le second. Alors la différence de niveau sera négative.

3°. Que si ces deux sommes sont égales, les deux termes seront de niveau.

La formule ci-dessus sera susceptible de réduction, lorsqu'il se trouvera des hauteurs de mire avant, égales à des hauteurs de mire arrière.

Manière de tenir un registre de Nivellement.

(96.) Le Nivellement se fait avec ou sans chaînage; quoiqu'il y ait peu de différence dans la tenue du registre pour chaque cas, je vais néanmoins en décrire séparément la forme. Supposons que le Nivellement se fasse sans chaînage; on dressera un tableau composé de quatre colonnes, dont la première désignera le numéro de la station, la seconde contien-

dra la hauteur de mire arrière, la troisième la hauteur de mire avant, la quatrième enfin sera destinée aux observations. Les seconde et troisième colonnes devront être assez larges pour que l'on puisse y insérer au besoin, à la suite du nombre qui exprime la hauteur de mire, une lettre d'indication, destinée à faire connaître les observations qui s'y rapportent.

MODÈLE de Registre de Nivellement sans chaînage.

NUMÉROS DES STATIONS.	HAUTEURS ARRIÈRE.	HAUTEURS AVANT.	OBSERVATIONS.
1.	3,m 456. (A)	0,m 526.	(A) Terme de départ marqué par une croix sur le seuil de la maison de campagne de M. N.
2.	2, 948.	0, 754.	
3.	3, 344.	0, 941.	
4.	1, 927. (B)	1, 436.	(B) Repère de vérification marqué par une croix sur un rocher dans la propriété de M. N.
5.	0, 742.	3, 249.	
6.	0, 222.	3, 434.	
7.	0, 125.	3, 244. (C)	(C) Terme d'arrivée marqué par une croix sur le bahut du pont de....
Totaux	12, 764.	13, 584.	

La somme des hauteurs avant est plus grande

que la somme des hauteurs arrière, ce qui fait voir (95) que le terme d'arrivée est plus bas que le terme de départ, d'une quantité égale à 13,m584 — 12,m764, c'est-à-dire, à 0,m82.

(97.) Dans le cas où l'on aura employé le chaînage, le modèle conservera la même forme avec une colonne de plus; destinée à recevoir les longueurs de chaque station, et placée immédiatement après celle des numéros des stations.

MODÈLE de Registre de Nivellement avec chaînage.

NUMÉROS DES STATIONS.	LONGUEURS DES STATIONS.	HAUTEURS ARRIÈRE.	HAUTEURS AVANT.	OBSERVAT.
	mètres.	m	m	
1.	350,	3, 456. (*A*)	0, 520.	(*A*) Terme de départ marqué par, etc.
2.	380,	2, 534.	0, 232.	
3.	325,	3, 032.	0, 454.	
4.	295,	1, 927. (*B*)	0, 924.	(*B*) Repère de vérification situé, etc.
5.	394,	0, 426.	3, 254.	
6.	342,	0, 245.	3, 334.	
7.	378,	0, 453.	2, 345. (*C*)	(*C*) Terme d'arrivée marqué par, etc.
TOTAUX	2464.	12, 073.	11, 063.	

Supposons que les deux points A, et B, entre lesquels on a été obligé de faire trois stations, soient les termes actuels du Nivellement; il faut prendre la somme des trois premières hauteurs d'arrière = 9,^{m}022, et celle des trois hauteurs d'avant = 1,^{m}206. Mais ici la somme des hauteurs arrière est plus grande que celle des hauteurs avant. Donc (95) le terme B sera plus élevé que le terme A de 9,^{m}022 — 1,^{m}206, c'est-à-dire, de 7,^{m}816.

(98.) Lorsqu'on trace un projet et que la ligne du tracé contient beaucoup d'angles, ce qui arrive ordinairement dans les pays montueux, on chemine avec le niveau par la route la plus directe, mais on a soin de relever à chacune de ses positions, les hauteurs de mire relatives à ceux des angles de la ligne du tracé qui l'avoisinent, et ne se trouvent point situés sur la direction du Nivellement. Ces points intermédiaires aux deux termes de la station ne sont à la rigueur, ni termes avant, ni termes arrière. Cependant, pour avoir les coups de niveau donnés, on peut les regarder comme formant des stations particulières.

Supposons que A et G (*fig.* 52), soient les deux termes extrêmes d'une seule station, et que sans déplacer l'instrument, on prenne successivement les hauteurs de mire des points A, B, C, et G. On peut regarder la station comme composée de trois stations particulières dont les termes d'arrière et d'avant sont, savoir: pour la première A et B; pour la deuxième B et C, et pour la troisième C et G. Dans ce cas, la hauteur de mire aux points intermédiaires B et C, est la même considérée comme hauteur arrière et comme hauteur avant.

MODÈLE de Registre de Nivellement à plusieurs coups de niveau sur la même station.

NUMÉROS DES STATIONS.	LONGUEURS entre les coups DE NIVEAU.	HAUTEURS ARRIÈRE.	HAUTEURS AVANT.	OBSERVAT.
	m	m	m	
1.	70.	1, 432. (*A*)	1, 541.	(*A*) Terme de départ, etc.
	105.	1, 541.	1, 312.	
	190.	1, 312.	1, 453.	
2.	85.	2, 104.	2, 246.	
	98.	2, 246.	2, 313.	
	94.	2, 313.	2, 411.	
	112.	2, 411.	2, 506.	
3.	60.	1, 971.	1, 845. (*G*)	(*G*) Repère de vérification hors de la ligne, etc.
	112.	1, 845.	1, 314.	
	156.	1, 314.	1, 607. (*K*)	(*K*) Terme d'arrivée, etc.
TOTAUX	1082.	18, 489.	18, 548.	

Dans le modèle ci-dessus, on voit qu'il y a le

terme de vérification G, placé hors de la ligne du tracé, et dont la distance au point précédent est de 60 mètres. Cette distance se prend du point du tracé déterminé par la ligne d'équerre tirée du terme G.

CHAPITRE II. (*)

Application du Nivellement au tracé des canaux et aqueducs.

(99.) Les eaux ne pouvant point s'élever d'elles-mêmes au-dessus de leur niveau, s'il est un genre d'ouvrage où le Nivellement soit impérieusement nécessaire, ce sont sans contredit les travaux que leur conduite fait entreprendre. Ces travaux se divisent en deux classes. Dans la première sont compris les canaux à découvert qui se subdivisent en canaux d'arrosage, canaux de navigation, et canaux d'arrosage et de navigation tout ensemble. Dans la seconde classe, se trouvent les canaux couverts et souterrains, tels que les aqueducs et autres conduites d'eau pour fontaines, soit publiques, soit privées. Je ferai l'application successive du Nivellement à chacun de ces objets.

(*) Dans ce chapitre, et les suivans, j'ai constamment suivi la marche indiquée par M. Fabre, dans son excellent ouvrage déjà cité; je l'ai même mis à contribution toutes les fois que je l'ai cru utile à l'instruction de mes lecteurs.

Notions préliminaires sur les canaux.

(100.) Une tranchée destinée à conduire l'eau d'un point à un autre, est ce qu'on appelle un *canal*. Il est rare qu'un canal soit entièrement creusé en pleine terre ; ordinairement il n'y en a qu'une partie, le reste est fait en terres rapportées; c'est ce qu'on appelle *douves* ou *chaussées*.

Aux grands canaux, on est dans l'usage de construire latéralement des *contre-canaux*, ou *contre-fossés*, soit pour mettre le canal principal à l'abri de tout accident provenant des eaux pluviales, soit pour intercepter les filtrations, s'il y en avait, et les empêcher de nuire aux propriétés riveraines.

Ainsi, un canal est composé, d'une tranchée en pleine terre, et de deux chaussées latérales destinées à contenir les eaux et à fournir un passage sur leur couronnement. A ces deux parties il faut ajouter dans les grands canaux les contre-fossés établis le long des chaussées, dont ils sont séparés par une berme ou lisière de terrain plus ou moins large, suivant les circonstances.

Les canaux se distinguent par l'usage auquel on les destine; car c'est à cet usage que sont subordonnées leur forme et leur construction. Ainsi, 1°. si un canal est destiné seulement à porter un certain volume d'eau d'un endroit à un autre, pour servir à l'arrosage, il prend le nom de *canal d'irrigation*. 2°. S'il est exclusivement affecté à la navigation, et que par conséquent les eaux doivent n'y avoir que très-peu ou même point de mouvement, il s'appellera *canal de navigation*. 3°. Si enfin les eaux doivent y avoir un certain degré de vitesse pour fournir à l'irrigation, et en même temps

une profondeur convenable pour recevoir des barques, il sera *canal d'irrigation et de navigation.*

Les bords intérieurs d'un canal quelconque doivent avoir un certain talus, soit dans la partie en pleine terre, soit dans celle en terres rapportées. Le degré d'inclinaison de ce talus, qui doit de plus exister dans la partie extérieure des chaussées du côté de la campagne, n'est pas toujours le même; il dépend de la viscosité et de la ténacité des terres, comme aussi de la destination du canal. Ainsi, l'inclinaison est moindre lorsque les terres sont fortes et grasses, ou lorsque le canal n'est affecté qu'à l'irrigation; et elle est plus grande lorsque les terres sont légères et sablonneuses, ou lorsque le canal est destiné à la navigation. En général, le moindre talus est celui de la diagonale du carré, c'est-à-dire, sous un de base et un de hauteur, et le plus grand sous deux de base et un de hauteur.

Dans un canal d'irrigation le fond, autrement dit *plat-fond*, ne doit former qu'un seul plan dont la pente soit constante et uniforme. Il faut néanmoins en excepter les endroits où l'on veut établir des engins; et ceux où, étant à la fin de son cours, et n'ayant plus besoin de le soutenir, on le livre à la pente naturelle du terrain pour laisser les eaux s'évacuer, soit dans la mer, soit dans quelque rivière. La pente dans la partie soutenue sera en raison inverse de la grandeur du canal. Elle se trouvera donc moindre dans les grands canaux, et plus grande dans les petits. Elle dépend encore, toutes choses d'ailleurs égales, du degré de limpidité des eaux destinées à alimenter le canal. Si ces eaux sont habituellement troubles, la pente doit être un peu plus forte. Il me paraît convenable de prévenir ici que, dans les plus grands canaux où la profondeur des

eaux est proportionnée à la largeur, la moindre pente est de 0,^{m}017 sur 100^{m} de longueur; et que pour les petits canaux, tels que ceux qui servent à mouvoir un moulin à blé de la grandeur la plus commune, sous la chute d'environ 3 mètres, il faut une pente d'au moins 0,^{m}041 sur 100^{m} de longueur.

Dans un canal de navigation, le plat-fond doit être parfaitement de niveau et ne former qu'un seul plan continu, à l'exception des endroits où l'on ménagera des chutes pour les écluses.

Dans un canal d'irrigation et de navigation, le plat-fond formera un plan continu et non interrompu, excepté aux endroits où des écluses seront établies. Le plat-fond aura une pente réglée et uniforme; la moindre qu'il sera possible de donner, pour que les eaux n'acquièrent pas trop de vitesse, est d'environ 0,^{m}017 sur 100^{m} de longueur.

L'économie et la bonne construction d'un canal quelconque exigent, que le déblai fournisse les terres nécessaires au remblai pour les chaussées, afin qu'il n'y ait pas un seul coup de pioche inutilement donné. On doit néanmoins excepter le cas où les déblais ne fournissent que du rocher, de la terre graveleuse, ou d'autres matières peu propres à former des chaussées ou à contenir les eaux; ce qui obligerait à établir le canal en pleine terre dans toute sa profondeur.

Quand on a un canal à construire, il faut d'abord fixer d'après sa destination, 1°. la largeur au plat-fond; 2°. la profondeur des eaux; 3°. la hauteur du couronnement des chaussées au-dessus du plat-fond; 4°. la largeur de ce couronnement; 5°. les talus, tant intérieurs qu'extérieurs, et s'il doit y avoir des contre-fossés; 6°. leur largeur au plat-

fond; 7°. leur profondeur; 8°. enfin les talus de leurs bords. Avec toutes ces données on déterminera la profondeur à laquelle on doit s'enfoncer par la tranchée, pour que le déblai fournisse constamment au remblai des chaussées.

Les deux termes du Nivellement d'un canal quelconque sont, 1°. un point choisi à la prise d'eau, inférieur à la superficie des basses eaux de la rivière destinée à l'alimenter, d'une quantité égale au moins à la profondeur des eaux dans le canal; 2°. le point auquel le canal doit s'évacuer, soit dans la mer ou dans un étang, soit dans une rivière ou dans un autre canal. Ces deux points doivent être rapportés à deux repères immuables pris hors de l'eau, et dont la hauteur relative soit exactement déterminée.

Dans un canal quelconque, on doit avant tout constater, par un Nivellement préparatoire, la possibilité de l'exécution, c'est-à-dire, si le premier terme est plus haut que le second pour un canal d'arrosage, ou si du moins il n'est pas plus bas pour un canal de navigation. Il faut avoir soin surtout de vérifier ce Nivellement par un second, ainsi qu'il a été dit au chapitre précédent, et à cet effet, de choisir divers termes de vérification. Si la possibilité est bien reconnue, on procède au tracé.

Le Nivellement du tracé suppose qu'on a déterminé la profondeur d'excavation pour que le déblai fournisse au remblai; et, si le canal doit avoir une pente, qu'on a pareillement fixé cette pente pour chaque centaine de mètres. Alors on commencera le tracé qui se réduit à la solution de cette question : *Trouver sur la surface de la terre autant de points qu'on voudra, tels qu'à chacun la profondeur d'excavation donne un déblai égal au remblai des chaussées; et que le fond de la tranchée*

ait une pente déterminée ou nulle, suivant la destination du canal.

Il arrive quelquefois que dans les tracés, on est contraint, pour éviter de très-grands circuits, de franchir des bas-fonds où, au lieu d'avoir des déblais, on a au contraire des remblais. Mais ces cas particuliers sont peu communs. En général, on a toujours incomparablement plus à déblayer qu'à remblayer.

Nivellement du tracé d'un canal d'irrigation.

(101.) Après avoir fixé le point de dérivation du canal et celui auquel on veut aboutir, et après avoir constaté par un double Nivellement la possibilité du projet, d'après la pente à donner au plat-fond, on déterminera la profondeur qu'il faudra creuser à chaque repère, pour que le déblai fournisse au remblai des chaussées. Cela fait, on choisira aux environs du point de dérivation, un repère immuable. On placera d'abord la mire à la superficie des basses eaux de la rivière destinée à alimenter le canal; on prendra au niveau la hauteur du carton, et l'on y ajoutera la profondeur du plat-fond projeté du canal, au-dessous de cette superficie, après la chute qu'on ménage ordinairement à l'entrée des canaux, pour y faciliter l'introduction des eaux. Cette somme sera la hauteur de mire au-dessus du plat-fond à l'origine du canal. On placera ensuite la mire au repère immuable ci-dessus, et on prendra encore la hauteur du carton. Cette dernière hauteur retranchée de la première, fera connaître de combien ce repère est plus élevé que le plat-fond, ou ce qu'il y aurait à creuser en le supposant, ainsi qu'on doit le faire, au point même de dérivation,

on le regardera comme repère de départ, et on le désignera par le n°. 1.

Après cette première opération, on changera de station si les localités l'exigent, en plaçant le niveau en avant. Soient A B (*fig.* 53) la rivière dont on veut dériver les eaux, C le point de dérivation et D le repère n°. 1, le niveau sera placé d'abord au point Q. On prendra la hauteur de la mire en D, et à cette hauteur on ajoutera la profondeur à creuser au point D pour arriver au niveau du plat-fond du canal au point C. On évaluera la distance C E à laquelle on veut placer le repère n°. 2; et d'après cette distance on déterminera la pente à donner de C en E, que l'on ajoutera à la somme précédente. De cette somme on retranchera la profondeur qu'on doit avoir à creuser au point E, le reste sera la hauteur de la mire à ce point E. On fixera donc le carton à cette hauteur et en bornoyant vers E on fera placer le porte-mire au point E, où le milieu du carton coïncidera avec le rayon de visée. On marquera ce point par un piquet, et ce sera le repère n°. 2. On pourra alors placer, si l'on veut, une pierre à côté du piquet, et prendre exactement la hauteur du carton; mais dans le fait cela n'est nécessaire qu'au repère où l'on termine la station, à moins qu'on ne se propose de regarder ce Nivellement comme définitif, et qu'on ne renonce, tant au profil qu'aux termes en pierre à substituer aux piquets.

Le repère n°. 2 étant fixé au point E, on choisira un second point F, tel que entre E et F il ne se trouve sur la ligne E F ni éminences, ni bas-fonds; et que le sol y soit uni. On évaluera la longueur E F, et la pente à donner sur cette distance. On augmentera la hauteur du carton de cette pente,

et on déterminera la position du point F, de la même manière que l'on a déjà déterminé celle du point E. On le marquera encore par un piquet qui indiquera le repère n°. 3.

On cherchera de la même manière la position des points G, H et K, qu'on marquera aussi par des piquets qui représenteront respectivement les repères n°. 4, 5 et 6. On supposera que le point K est le terme de cette station. On calculera la profondeur d'excavation qu'il doit y avoir pour arriver au plat-fond; et ensuite on changera de station en transportant le niveau en R, situé de manière qu'il soit à peu près à égale distance et en vue des points K et P, choisis pour les deux termes de la nouvelle station.

Dans cette station, après avoir monté le niveau, on prendra derechef la hauteur du carton de mire au point K, et on l'ajoutera à la profondeur à creuser au même point. En joignant à cette somme la pente à donner sur KL, et en retranchant de la totalité la profondeur de déblai qu'on veut avoir au point L, on aura la hauteur de mire qui convient à cette profondeur; et l'on déterminera le point L ainsi qu'on aura déjà déterminé F. On le marquera encore par un piquet qui désignera le repère n°. 7. On s'y prendra de la même manière pour déterminer les autres repères M, N et P de la même station; et pour passer à la station suivante, on traitera le repère P ainsi qu'on a déjà traité le repère K.

Supposons qu'à la suite du point P se trouve une vallée à franchir, et dont le profil, suivant le cours du canal, est représenté par A, B, C, (*fig.* 54). Supposons en outre que le plat-fond y est exprimé par la droite X Y. En prenant la hau-

teur de mire et calculant la profondeur d'excavation au repère P, on aura la hauteur du remblai au repère S. Par la hauteur de mire et de remblai au point S, on trouvera la hauteur du remblai au point B. Les mêmes opérations faites au point B donneront la hauteur au point T. Enfin l'on aura, en les répétant au point T, la hauteur de mire par laquelle on trouvera de l'autre côté de la vallée, le repère V, où l'excavation sera la même qu'au repère P.

Il peut arriver que le bas-fond A, B, C, soit franchi par un aquéduc au lieu de l'être par une chaussée. Mais dans tous les cas X Y en sera le plat-fond. Ainsi les hauteurs de remblai aux points S, B et T seront les mêmes dans l'un et dans l'autre cas.

Il est inutile de pousser plus loin ces détails qu'on suivra d'après les mêmes procédés jusqu'à la fin du projet. On observera seulement que la ligne brisée qui passera par tous les piquets, sera l'axe ou la ligne de milieu du projet à exécuter. On observera encore qu'à mesure qu'on passera à portée des termes de vérification choisis dans le premier Nivellement, on doit avoir soin de s'y rapporter et de les lier avec le Nivellement du tracé. Ce sera par le moyen de ces termes qu'on pourra à chacun d'eux s'assurer si jusque-là, on a opéré exactement.

Supposons, en effet, que Z (*fig.* 53) soit un de ces termes dont la position verticale par rapport au terme D de départ, soit connue par le Nivellement préparatoire qui a constaté la possibilité du projet. Si par le Nivellement du tracé on retrouve le même résultat pour la position respective de ces deux points, c'est une preuve de l'exactitude de ce dernier Nivellement, et que les divers repères de C

en P, sont convenablement placés. Si au contraire on trouvait une différence sensible, on serait assuré qu'il y aurait des erreurs, et alors il faudrait reprendre le tracé de C en P.

Il y a des cas où le tracé ne doit pas passer constamment par les points tels que le deblai fournisse au remblai des chaussées. Prenons pour cela la (*fig.* 55) dans laquelle le canal est obligé, d'après cette condition, de faire le circuit ABCDEFGHKLM autour d'une chaîne de collines. Si dans la direction de A et de M, cette chaîne est peu élevée, on sent que pour éviter ce grand détour, il faut se décider en faveur du coupement suivant A M. Or alors le Nivellement s'écarte de la méthode précédemment suivie, et se rapporte aux profils dont on parlera plus bas.

Il y a aussi des cas où l'on a intérêt de ménager des chutes pour l'établissement d'usines. Aux endroits où l'on veut former de pareils établissemens, le plat-fond souffre solution de continuité et s'abaisse subitement de la hauteur qu'on doit donner aux chutes. Mais en aval de ces chutes si le canal continue d'être soutenu, le tracé en sera toujours fait d'après les mêmes principes.

Outre ces deux cas, il en existe encore quelques-uns qu'il faut examiner. Supposons d'abord que dans le tracé on fût obligé de traverser des bruyères. Comme la mire dominerait toujours, ces bruyères n'empêcheraient pas de voir le carton. Il suffira alors de placer le niveau aux endroits éminens pour pouvoir franchir tous les obstacles par le rayon de visée. Les piquets désignant les repères devront être assez longs pour être aperçus au-dessus des bruyères. On les laissera même subsister, après avoir placé des repères en pierre. Quant au chaînage il

ne pourra guère s'effectuer sans ouvrir le passage à la hache, et sans abattre tout ce qui est sur la route à suivre.

S'il s'agissait de traverser un bois taillis, après s'être assuré de la possibilité du projet par le premier Nivellement, en suivant le bord extérieur du bois, le tracé du canal devient plus difficile. Dans le cas où la hauteur du bois n'excédera pas celle de la mire additionnelle, on placera le niveau sur des endroits éminens et d'où l'on puisse dominer les obstacles. S'il ne se trouve pas des endroits pareils, on doit employer un échafaud portatif sur lequel on mettra le niveau à chaque station ; et si ce dernier moyen n'est pas praticable à cause des embarras, ou si le bois s'élève au-dessus de la mire additionnelle, il faut recourir à la hache et se faire jour sur la route à suivre. Dans tous les cas ce dernier parti devient même indispensable pour le chaînage. Mais il ne faudrait l'employer qu'après avoir fixé la route par le placement des repères qui, dans ce cas, doivent être marqués par des perches plus hautes que le bois.

Il est moins difficile de faire le tracé dans une forêt de haute futaie. Car dans ces sortes de forêts on abat ordinairement la broussaille et le petit bois, pour ne laisser que les arbres parmi les tiges desquels on peut bornoyer. Seulement les stations seront courtes et plus multipliées. Du reste le tracé se fera de la même manière qu'en pays à découvert, observant de faire des marques sur l'écorce des arbres qui seront sur la route.

Le tracé du canal peut quelquefois traverser un marais, ainsi qu'on le voit (*fig.* 56). Soit donc l'alignement C D qui traverse le marais FHKGLMN. Ce marais peut être praticable ou impraticable. Il

sera praticable s'il est à sec dans certain temps de l'année, et qu'alors on puisse y opérer. Il sera impraticable, au contraire, s'il est habituellement occupé par les eaux.

Lorsque le marais est praticable, le tracé sur la partie C D, se fait de la même manière que sur la partie restante. On a seulement soin de choisir la saison où le marais est à sec.

Dans le cas où le marais est impraticable, on place deux repères immuables en F et G, au bord même de ce marais, et on fait le Nivellement de C en D, en suivant la ligne CFNMLGD, ou la ligne CFHKGD à volonté. Pour ce qui est du chaînage, on pourra le renvoyer à l'époque où l'on prendra le profil du sol. Cependant, comme on a besoin de connaître la distance de C en D, pour fixer la profondeur à creuser en D et E, on déterminera provisoirement la longueur de FG par le moyen de la trigonométrie.

Nivellement du tracé d'un canal de navigation.

(102.) L'objet d'un canal de navigation est ordinairement de joindre deux rivières navigables, ou deux mers. Dans l'un et l'autre cas, ses deux termes extrêmes se trouvent à ses embouchures. C'est à l'une d'elles que les opérations du tracé doivent commencer. En conséquence, après l'avoir fixée, ainsi que la profondeur du plat-fond, par rapport à un repère immuable choisi ou placé aux environs, de même qu'aux canaux d'irrigation, on procédera au tracé suivant le même mode. La seule différence qu'il y aura, c'est que pour déterminer la hauteur du carton de mire avant, et pour calculer la profondeur des déblais, ou la hauteur des rem-

blais, on ne tiendra plus compte de la pente qui est nulle dans le cas actuel.

Les hauteurs et les emplacemens des chutes seront fixés avec soin. Mais en amont et en aval le plat-fond du canal continuera d'être de niveau et tracé suivant les mêmes principes. Dans tout le reste on se conduira de la même manière que pour les canaux d'irrigation.

Si le canal traverse un étang FHKGLMN (*fig.* 56), au lieu d'un marais, on placera sur l'alignement C D, et aux bords F et G de l'étang, deux repères immuables, dont la position verticale sera rapportée au niveau de la surface des eaux. Ainsi il n'y aura pas de Nivellement de F en G. La longueur même de F G sera inutile pour le moment, à cause que le plat-fond doit être de niveau.

Nivellement du tracé d'un canal d'irrigation et de navigation.

(103.) Un canal destiné tout à la fois à l'irrigation et à la navigation, exigeant un grand volume d'eau, doit nécessairement être dérivé d'une rivière considérable, et avoir une pente uniforme. Par conséquent son tracé sera exactement le même que celui d'un canal d'irrigation; observant seulement de choisir les emplacemens des écluses, de la même manière qu'on a dit pour celui des chutes pour usines.

Application du Nivellement au tracé des aquéducs.

(104.) Les aquéducs sont destinés à conduire les eaux de source, d'étang, et quelquefois même de rivière, ainsi qu'on le voit par l'ancien aquéduc des

Romains à Fréjus, dans le département du Var, et qui amenait autrefois à cette ville les eaux de la rivière de Siagnes. On en distingue trois sortes, savoir : 1°. les aquéducs voûtés et dont on peut parcourir l'intérieur ; 2°. les aquéducs à ciel ouvert ; 5°. les aquéducs en tuyaux de conduite, établis sans voûte, à une certaine profondeur dans la terre.

Les uns et les autres exigent une certaine pente qu'on doit préalablement fixer.

Mon objet n'étant que d'appliquer les règles du Nivellement au tracé des aquéducs, je vais indiquer la marche à suivre. On déterminera d'abord la profondeur d'excavation d'après la hauteur de l'extrados de la voûte, ou d'après la profondeur à laquelle on doit établir les tuyaux de conduite. On fixera ensuite le terme du départ et le fond de l'aquéduc à son origine, ainsi qu'il a été dit. Enfin on procédera au tracé de la même manière que pour les canaux d'irrigation dont nous avons déjà parlé, soit que l'aquéduc doive être constamment sous terre, soit qu'il doive en certains endroits s'élever au-dessus du sol, tel que l'aquéduc de Fréjus ; celui du Gard, dans le département du même nom ; celui de Barbégal, près de Mont-Major-lez-Arles, dans le département des Bouches-du-Rhône, etc.

Observations générales sur le tracé des canaux et des aquéducs.

(105.) L'on peut voir clairement par tout ce qui vient d'être dit, que de toutes les manières de tenir registre des opérations du tracé, tant des canaux, que des aquéducs, la plus avantageuse et la plus simple en même temps, est celle qui a été prescrite. Il faut, ainsi qu'on l'a dit, avoir soin de fixer

un repère au sommet de chaque angle; d'indiquer si la déviation est à droite ou à gauche; de désigner le lieu des repères, les termes de vérification, leur hauteur respective, la profondeur à creuser ou la hauteur à remblayer, surtout au repère où l'on change de station, etc. Ces divers détails sont essentiels à porter sur le registre qui, pour cette raison, doit avoir la forme du tableau que nous avons proposé.

Dans tous les tracés, soit de canaux, soit d'aquéducs, il faut mesurer avec soin les distances qui séparent les divers repères. On devra porter sur le registre la distance d'un repère d'arrière au point du tracé pris au droit d'un terme de vérification qui se trouvera correspondre entre ce repère et le suivant. Cette dernière opération est indispensable; elle sert surtout à régler les pentes, ainsi qu'il a été dit, soit pour les canaux, soit pour les aquéducs. Mais, outre ces précautions communes à l'un et à l'autre objet, il en est qui sont particulières à chacun d'eux, et qu'il est à propos de faire connaître.

Observations particulières sur le tracé des canaux.

(106.) S'il ne s'agit que du tracé d'un petit canal d'arrosage, les piquets placés au sommet des angles sont propres à servir de repères. Dans ce cas, il convient de placer auprès de chaque piquet, une pierre sur laquelle on pose la mire. On peut se rapporter sûrement à ce repère, non-seulement dans les profils, mais aussi dans l'exécution, surtout si l'on a eu soin de marquer la hauteur de la pierre sur le piquet même. Mais on doit veiller à ce que celui-ci ne soit pas dérangé.

Dans les grands canaux, on substitue pour re-

pères, des pierres aux piquets. Elles doivent avoir environ trente centimètres d'équarrissage et au moins quatre-vingts centimètres de queue. Leur tête doit être parfaitement dressée au ciseau et d'équerre à leur longueur. Ces pierres sont plantées debout à la place des piquets, de manière qu'elles ne surmontent le terrain que d'environ huit centimètres, et que le plan de leur tête soit parfaitement de niveau. On y marque au ciseau le n°. des repères, et l'on y fait de plus une croix qui désigne le point où la mire doit être placée. Par ce moyen, les repères se trouvent solidement établis pour servir aux opérations du Nivellement, et l'on pourra, en outre, s'y rapporter lors de l'exécution.

Afin de retirer tout l'avantage possible des repères dont il s'agit, on tracera au ciseau, du centre du carré de leur tête, deux lignes, dont l'une sera dirigée sur le repère arrière, et l'autre sur le repère avant. Alors on pourra voir sur un repère quelconque dans quelle direction se trouvent celui qui le précède et celui qui le suit; si l'un ou l'autre était caché, soit par des broussailles, soit par d'autres obstacles, au moyen de cette direction et du chaînage, on le découvrirait avec la plus grande facilité.

Observations particulières sur le tracé des aquéducs.

(107) Lorsqu'il ne sera question que d'un petit aquéduc, on pourra, comme pour les petits canaux, marquer les repères à l'aide des simples piquets. Mais pour les grands aquéducs, on leur substituera, de même que dans le tracé des grands canaux, des repères en pierres pareils à ceux qui viennent d'être décrits, et dont l'usage sera le même en tout point.

CHAPITRE III.

Application du Nivellement aux profils.

Notions générales et préliminaires.

(108.) Soit ACDEFGHK (*fig.* 57) une ligne quelconque tracée sur la surface de la terre, suivant une seule ou plusieurs directions; par le point quelconque A, imaginons une ligne de niveau correspondante à la ligne mentionnée. Imaginons par tous les points de celle-ci des lignes d'aplomb sur la première. Il est visible qu'on pourra parvenir à la hauteur respective de tous les points de la ligne ACD, etc. si l'on connaît la longueur de chacune de ces lignes d'aplomb, ainsi que leur distance respective prise sur la ligne AB; on pourra même alors décrire sur le papier, d'après une échelle déterminée, la ligne ACD, etc., telle qu'elle est sur le terrain. Cette ligne ainsi décrite est ce qu'on appelle *profil* ou *coupe*.

L'art de profiler consiste donc à mesurer les portions des verticales de tous les points d'une ligne tracée sur le terrain, comprises entre cette ligne et une horizontale donnée de position, ou choisie à volonté; ainsi que les intervalles des pieds des verticales mentionnées sur l'horizontale choisie. L'objet d'un profil est d'exprimer sur le papier toutes les inégalités de hauteur d'une ligne tracée sur le terrain; tandis qu'un plan n'exprime que la situation

horizontale d'une figure. Ainsi le profil détermine la projection verticale, et le plan, la projection horizontale.

On sait que la théorie des lignes courbes, est fondée uniquement sur la connaissance des relations qui existent, entre leurs abscisses et leurs ordonnées. Ces relations sont exprimées pour chaque courbe, par une équation particulière, à l'aide de laquelle on connaît l'ordonnée par l'abscisse correspondante ; en sorte qu'il est possible de trouver autant de points que l'on veut, de la courbe considérée. Dans les profils, la ligne de niveau ou horizontale à laquelle on se rapporte, est toujours prise pour axe des abscisses, et les lignes d'aplomb ou verticales menées des divers points de la ligne profilée, en sont les ordonnées. S'il était possible de lier par une équation, les relations existant entre les abscisses et les ordonnées d'un profil ; connaissant les abscisses, on en pourrait déduire les ordonnées correspondantes, et par conséquent les positions respectives de tous les points de la ligne profilée. Malheureusement il est impossible de saisir les relations mentionnées ; on ne peut donc pas établir entre elles une équation ; et l'on est obligé, pour arriver à la connaissance complète du profil d'un terrain, de mesurer les longueurs d'un nombre suffisant d'abscisses et d'ordonnées.

Les deux axes des coordonnées, auxquels on rapporte les courbes, sont ordinairement deux lignes droites; de sorte que les coordonnées de tous les points de ces courbes, appartiennent à deux faisceaux de lignes droites parallèles. Dans les profils, au contraire, l'axe des abscisses étant une ligne de niveau, est nécessairement curviligne. En outre, les ordonnées de ces profils étant des lignes d'aplomb,

doivent concourir vers le centre du globe. Cependant, comme les profils sont principalement destinés à faire connaître les rapports de hauteur des ordonnées dont les distances sont connues, on sent que cette connaissance s'obtient également, et d'une manière plus simple, en redressant l'axe des abscisses et en rendant ainsi les ordonnées parallèles. Ce système de coordonnées a donc dû prévaloir; et en effet, quoiqu'il ne soit pas d'une vérité rigoureuse, on l'a généralement adopté.

La projection horizontale AK′, de la ligne ACD, tracée sur le terrain, sera donc l'axe des abscisses. Si cette ligne suit constamment la même direction, si elle est dans un seul et même plan vertical, l'axe des abscisses ne formera qu'une seule ligne droite. Mais si elle suit diverses directions, ou si elle est dans divers plans verticaux qui fassent des angles entre eux, comme, par exemple, les feuilles d'un paravent, l'axe sera une ligne brisée, composée d'autant de droites qu'il y aura de directions différentes, et ses angles seront les mêmes que ceux des plans qui comprennent les portions de la ligne dont il s'agit.

Il faudrait donc à la rigueur que l'axe des abscisses fût une ligne brisée, lorsque la ligne à profiler suit diverses directions. Mais comme il est impossible d'employer une pareille ligne sur le papier pour axe des abscisses, et que d'ailleurs, quand même la chose serait praticable, il n'en résulterait aucun avantage, on est convenu de rectifier tant l'axe que le plan de la ligne à profiler; ce qui produit le même effet et simplifie beaucoup les opérations.

Le choix de l'axe des abscisses est arbitraire, et on peut le faire passer par tel point qu'on juge à

propos, mais il est essentiel de connaître sa position par rapport au point de départ d'un Nivellement. Les uns le placent au-dessus et les autres au-dessous. La chose considérée en elle-même et d'une manière isolée, est assez indifférente. Mais on verra ailleurs qu'en l'envisageant sous des rapports généraux, la position de cette ligne ne doit pas être arbitraire.

Les ordonnées d'un profil, n'exprimant que les hauteurs de ses points relatives à une ligne de niveau fixe, il est évident qu'on ne peut les connaître que par le Nivellement. Or, si cette opération les détermine par rapport à la ligne de niveau qui passe au point de départ, elle les fixera également par rapport à tout autre axe, dont la position à l'égard du même point sera connue.

Ainsi, les ordonnées des divers points C, D, E, etc. ayant été déterminées par le Nivellement, et rapportées à l'axe A B qui passe par le point de départ A, si l'on veut les rapporter à un autre axe qui soit au-dessus ou au-dessous de A, d'une quantité connue, il n'y a qu'à diminuer dans le premier cas, ou à augmenter dans le second, de cette quantité la valeur de ces ordonnées.

Supposons, par exemple, qu'après avoir rapporté les ordonnées à l'axe A B, on veuille les rapporter à l'axe A′ B′ qui passe au-dessus du premier d'une quantité $= AA'$. La nouvelle ordonnée au point A sera $= 0 - AA' = - AA'$; celle au point C sera $= 0 - C''C = - (C''C' - CC') = CC' - AA'$, etc.

Si au contraire on veut les rapporter à l'axe A″ B″ qui passe au-dessous du premier de la quantité $= AA''$, la nouvelle ordonnée au point A sera $= 0 + AA'' = AA''$; celle au point C sera $= CC''' = C'C''' + CC' = AA'' + CC'$, etc.

Les abscisses doivent se rapporter au sommet de l'axe, et ce sommet se rapporte lui-même au point de départ. Ainsi, dans la (*fig.* 57) le sommet de l'axe se trouve au point A de départ, ou sur la verticale A′ A″ qui passe par ce point. Si l'on veut le rapporter à tout autre point S ou S′, à gauche ou à droite du point A, d'une quantité connue A S ou A S′, on peut le faire aisément en augmentant dans le premier cas chaque abscisse de la quantité A S, et en la diminuant, dans le second, de la quantité A S′.

Quant à la valeur absolue des abscisses, on ne peut la connaître que par le chaînage qui, devant être fait suivant l'horizontale ou parallèlement à l'axe des abscisses, donnera par conséquent des quantités égales aux abscisses correspondantes.

On distingue deux sortes de coupes ou de profils, savoir : 1°. les *profils en long* ou *profils longitudinaux;* 2°. les *profils en travers* ou *profils transversaux*.

Le *profil longitudinal* doit, dans un projet, être pris sur l'axe ou la ligne milieu de ce projet. Une condition essentielle de ce profil, est qu'il se rapporte non-seulement aux termes extrêmes du Nivellement, mais encore à tous les repères; il a pour but de faire connaître toutes les variations de la superficie du sol relativement à la ligne de niveau.

Le *profil transversal* doit au contraire être pris en travers, et au droit de chaque repère auquel on aura soin de le rapporter. Mais lorsque l'ouvrage à exécuter est sur un penchant dont la déclivité varie de manière à rendre fort irrégulier le profil longitudinal, on est souvent obligé de prendre plusieurs profils transversaux entre deux repères consécutifs. Dans tous les cas leur direction doit être

O 2

d'équerre avec la partie correspondante de l'axe. Pour simplifier, nous n'en admettrons qu'au droit des repères, et nous les supposerons d'équerre avec la partie arrière de l'axe.

Dans un profil transversal, on distingue la partie à droite et la partie à gauche. Pour cela on suppose l'ingénieur marchant sur l'axe dans le sens du cours de l'eau, s'il y a un courant ou s'il doit en exister un d'après le projet; et dans le sens de ses opérations, si le projet n'admet point de courant, alors la partie à droite et à gauche du profil se distinguera par la droite ou la gauche de l'ingénieur. Chacune de ces parties doit être assez étendue pour embrasser toutes les dépendances du projet ou de l'objet profilé.

Les profils transversaux sont destinés à faire connaître la position et les variations du sol pris en travers, au droit de chaque repère, et par-là ils indiquent toutes les opérations à porter sur les devis qu'on doit dresser. Ainsi, en supposant qu'il s'agisse d'un canal à soutenir sur le penchant d'une montagne, d'après le degré de déclivité de ce penchant qui sera indiqué par le profil, on jugera si du côté d'aval on a besoin d'un mur ou si une chaussée sera praticable.

Soit ABCDE (*fig.* 58) la forme de la superficie du terrain, suivant une portion A′ B′ C′ D′ E′ de l'axe du tracé d'un projet quelconque. Supposons d'abord que le niveau étant placé entre les deux repères A et C, donne pour rayon de visée F G, et imaginons des verticales partant des divers points inégalement élevés H, K, B, L, M, N, O. Elles seront toutes, ainsi que A F et C G, les hauteurs de mire aux points correspondans. Par conséquent si sur la partie A B C, on prend F G pour l'axe des

abscisses, ces verticales seront les ordonnées, dont la valeur déterminera la position des points correspondans par rapport à cet axe.

Changeons de station en plaçant le niveau entre C et E, et supposons que, dans cette nouvelle position, le rayon de visée soit PQ. Imaginons encore des verticales partant des divers points R, S, T, D, V. Elles seront, de même que CP et EQ, les hauteurs de mire aux points correspondans. Donc si l'on regarde PQ comme l'axe des abscisses sur la partie CE, ces verticales seront les ordonnées qui feront connaître la position des points correspondans par rapport à cet axe.

Or les deux axes FG et PQ, quoique différens entre eux, sont néanmoins de niveau l'un et l'autre, et par conséquent parallèles. D'ailleurs leur distance PG est connue puisqu'elle est = CP — CG; que CG est la hauteur extrême de mire avant de la station sur AC, et que CP est la même hauteur de mire arrière de la station sur CE.

Donc si l'on veut rapporter toutes les ordonnées à l'axe FG prolongé, il faut diminuer celles qui se trouvent sur CE de la quantité PG; et si au contraire on veut les rapporter toutes à l'axe PQ prolongé, il faut augmenter de la même quantité PG celles qui se trouvent sur AC.

Si au lieu de se borner à deux stations, on en suppose un plus grand nombre, on verra par ce qui vient d'être dit, que les ordonnées de la troisième station, pourront se rapporter à l'axe des abscisses de la seconde, et par conséquent aussi à celui des abscisses de la première; que de même les ordonnées de la quatrième, pourront se rapporter à l'axe des abscisses de la troisième, et par

O 5

conséquent à celui des abscisses de la première, et ainsi de suite jusqu'à la fin. D'où l'on conclura que, quel que soit le nombre des stations, toutes les ordonnées peuvent se rapporter à l'axe des abscisses ou au rayon de visée d'une seule station.

On sait que la surface de la terre, même aux endroits où elle paraît la plus unie, est parsemée d'inégalités plus ou moins considérables. S'il fallait la représenter en profil avec toutes ces inégalités, on sent que la mire devrait être placée partout où il s'en trouve, en sorte que l'opération ne finirait jamais. Il s'agit donc de savoir quels sont les points qui doivent entrer dans un profil, et où il faut prendre la hauteur de mire.

En considérant un profil comme formé d'un nombre convenable de petites portions de lignes droites, il suffit de prendre la hauteur de mire aux points où la surface du terrain change de direction, soit pour monter, soit pour descendre; de manière que tous ces points étant joints ensuite par des droites, il en résulte le profil cherché. Tels sont les points A, H, K, B, L, etc. On voit qu'il eût été superflu de prendre des hauteurs de mire entre A et H, ou entre H et K, etc.

Si l'on conçoit une droite du point C au point S, elle passera au-dessus du point R; ce qui fait sentir la nécessité de prendre une hauteur de mire à ce dernier point. Cette opération doit avoir lieu toutes les fois que la flèche correspondante à R, pourra être sensible sur le profil rédigé et rapporté sur le papier. Or cette flèche étant supposée constante sur le terrain, elle sera plus ou moins sensible sur le profil rapporté, selon que l'échelle sera plus ou moins grande. D'où l'on doit conclure

qu'un profil exigera d'autant plus d'ordonnées qu'il devra être rapporté sur une plus grande échelle.

Il n'y a aucun projet tant soit peu considérable, du ressort du service des Ponts et Chaussées, qui n'exige des profils en long et en travers. Aussi les emploie-t-on dans les canaux et aqueducs de tous les genres, et dans les routes. Ils servent de plus à déterminer la pente des rivières, et la forme de leur lit; surtout ils sont d'un grand usage dans la construction des ponts et dans la navigation. On va examiner le mode à suivre pour leur application à chacun de ces objets.

Nivellement du profil longitudinal des canaux.

(109.) Soient A' B' C' D' E' (*fig.* 58) le plan de l'axe du canal à profiler, F' le repère du départ, et A' le point de dérivation. On suppose que tous les repères placés aux angles sont marqués par des bornes en pierre, ou par des piquets avec des points fixes, selon l'importance du canal.

La première chose à faire est de placer un jalon en A', un autre en B', et un troisième en B'' sur le prolongement de A' B'. On montera le niveau entre les points A' et B' qui sont supposés assez distans l'un de l'autre pour fournir à une station. Ensuite on prendra la hauteur de la mire au point F', dont on connaît la position verticale par rapport au plat-fond du canal au point de dérivation A'.

Cela fait, on commencera le chaînage au bord de l'eau A' ou A; avant de passer de la première à la seconde chaînée, on prendra successivement la hauteur de mire au point A et aux autres points inégalement élevés; et l'on aura soin de relever

exactement sur la chaîne, la distance de chacun de ces points au commencement A du chaînage, comme formant les abscisses dont les hauteurs de mire correspondantes sont les ordonnées. Ceci doit faire sentir la nécessité de la forme du registre (98).

Les points inégalement élevés et compris sur la longueur de la première chaînée étant épuisés, on devra passer à la seconde sur laquelle on opérera de même; et ainsi de suite jusqu'à la fin de la station au point B, où l'on prendra très-exactement la hauteur de mire.

Après avoir profilé l'espace compris sur la première station, on transportera le niveau sur la seconde B′ C′ ou BC; ensuite sur la troisième C′ D′ ou CD; et les suivantes jusqu'à la fin. Sur chacune de ces stations on se conformera à ce qui a été prescrit pour la première. Mais il est divers cas à considérer et qui vont être examinés en détail.

Il est rare que le tracé d'un canal ne coupe pas quelque route qu'il faudra nécessairement rétablir en construisant, lors de l'exécution, un pont sur la partie coupée. Le profil du tracé, dans cette partie, doit être pris en conséquence.

Lorsque le tracé d'un canal coupe un torrent, une rivière ou un autre canal, ce qui entraîne la nécessité de construire un aqueduc, il est essentiel de prendre le profil bien exact de la traversée de ce torrent, de cette rivière, ou de ce canal. On doit même y faire entrer la hauteur de mire au point des hautes, moyennes et basses eaux. Par ce moyen, l'on pourra dresser les plans des aquéducs dont la construction se lie à l'exécution du canal projeté.

Il peut arriver qu'un canal doive traverser un

marais FHKGLMN (*fig.* 56). Dans ce cas, on sera dispensé de prendre au niveau le profil de F en G; il suffira, lors du tracé, d'avoir établi des repères de vérification aux points F et G, liés entre eux par un Nivellement le long du pourtour FNMLG. Le profil, après avoir été poussé de A en F, le sera de F en G de la manière suivante.

Si le marais est peu profond et que les porte-chaînes puissent le traverser à gué, il suffira de prendre la profondeur des eaux au bout de chaque chaînée. Quant au chaînage, au lieu d'employer des fiches, on se servira de piquets assez longs pour paraître au-dessus de la surface des eaux.

Si le marais a une profondeur d'eau, telle qu'on ne puisse pas le traverser à gué, on fera le chaînage avec deux bateaux, et on prendra également la profondeur des eaux au bout de chaque chaînée.

Lorsqu'un canal de navigation traverse un étang, il est nécessaire d'établir une chaussée de chaque côté pour le chemin de hallage. On sent que la dresse du devis estimatif de ces chaussées exige que la profondeur des eaux soit connue. Alors le chaînage et les sondes se feront ainsi qu'il vient d'être dit.

Le lecteur a vu que, quand un canal devait traverser des bruyères ou des bois taillis, il fallait, pour le chaînage, se frayer un passage à la hache. Alors la route du canal étant ouverte, on pourra suivre la chaîne et prendre le profil de la même manière qu'en pays découvert.

Nivellement du profil transversal des canaux.

(110.) On a dit en quel endroit, suivant quelle direction et sur quelle étendue devaient être pris

les profils transversaux. Soit donc PQ (*fig.* 56) la longueur et la direction du profil transversal au repère B. Le Nivellement commencera indistinctement au point P ou au point Q, et le profil se prendra de la même manière que suivant l'axe. La seule attention qu'on doit avoir, est de prendre exactement la hauteur de mire au repère ; par ce moyen le profil sera lié au tracé du canal, ce qui est indispensable.

Lorsqu'on soutient un canal sur le penchant de collines, l'on est obligé de pratiquer, par intervalles, des aquéducs au-dessous du plat-fond pour évacuer les eaux pluviales, reçues par le contre canal du côté des collines. L'économie exige que ces aquéducs soient en demi-syphon ou à puisard; c'est-à-dire, que les eaux s'y précipitent par une chute à l'entrée. Dans ce cas, le profil doit se prendre ainsi qu'il suit.

Supposons que l'aquéduc doive être construit au point R. La partie RS n'aura que la longueur relative à l'étendue des ouvrages à l'entrée de l'aquéduc; mais la partie RT sera poussée jusqu'au point de la pente de la colline où le plat-fond du fossé d'évacuation, dont la pente est censée connue, paraîtra au-dessus du terrain. Dans ce cas, pour lier le profil à celui qui a été pris suivant l'axe, on devra prendre très-exactement le premier coup de niveau au repère B le plus voisin du point R.

S'il arrive que le terrain soit tellement en pente qu'on ne puisse niveler d'une seule station, tout le profil transversal, on le fera en deux ou même en trois, selon le besoin, observant dans les changemens de station, les mêmes précautions que pour le tracé et les profils longitudinaux.

Lorsqu'un chemin se trouve coupé par le tracé,

il est indispensable de prendre le profil transversal suivant ce chemin. L'étendue de ce profil, tant à droite qu'à gauche du canal, doit être proportionnée à la longueur des rampes du pont à construire pour rétablir le passage. Mais pour le lier avec le Nivellement général, il faut avoir soin de le rapporter au repère le plus prochain.

Nivellement des profils des aquéducs.

(111.) Tout ce qui a été dit au sujet des profils des canaux, s'applique textuellement aux profils, tant en long qu'en travers, des aquéducs, et il n'y a rien de plus à dire sur cette matière.

Nivellement des profils des routes.

(112.) Les routes considérées par rapport aux profils, se divisent en deux classes : dans la première sont les routes à construire à neuf, et dont le tracé a été préalablement fait au niveau de pente. La seconde classe comprend toutes les routes anciennement construites sans profils.

Nivellement du profil longitudinal d'une route tracée et à construire.

(113.) Pour prendre un profil longitudinal sur une route tracée et non construite, il faut d'abord fixer des repères immuables auxquels on puisse se rapporter pendant la construction. Ces repères seront des bornes en pierre qu'on placera sur l'axe, à des distances réglées et aux angles. Indépendamment de ces bornes, on prendra aussi par interval-

les et pour des raisons qui seront déduites plus bas, d'autres repères immuables aux environs de la route, et surtout au fond des vallées, au sommet des montées, aux embranchemens dans les traverses des communes, et sur les ponts.

Le repère du départ ayant été fixé, on partira de ce point en suivant l'axe de la route à la chaîne et au niveau; et l'on prendra le profil longitudinal de la même manière que celui d'un canal.

Nivellement du profil longitudinal d'une route en exercice.

(114.) C'est toujours sur l'axe de la route qu'il convient de prendre le profil longitudinal; mais comme elle est supposée en exercice, les repères auxquels on doit se rapporter par intervalle ne peuvent pas être pris sur cet axe, attendu que leur position serait dérangée par le roulage des voitures, ou par un accident quelconque. On emploiera donc comme repères, soit des bornes établies auprès des empierremens, soit d'autres points fixes placés hors de la route. Ces derniers doivent particulièrement être choisis au fond des vallées, et aux autres endroits désignés ci-dessus (113). Il faut surtout faire entrer dans le profil les ponts et ponceaux; et là où ces sortes d'ouvrages existent, on ne peut se dispenser de profiler le sol naturel et le dessus de l'aire de la route.

Le profil longitudinal de la route sera pris de la même manière que celui d'une route à construire. On aura seulement l'attention de terminer les chaînages au droit de chaque repère, comme on ferait si les repères étaient placés sur l'axe, et de prendre la hauteur de mire non-seulement sur ces re-

pères, mais aussi sur l'axe aux points vis-à-vis d'eux, et où le chaînage de repère à repère se termine. Chaque repère et le point correspondant de l'axe seront cotés sur le registre, sous la même distance du repère précédent.

Nivellement du profil transversal d'une route tracée et à construire.

(115.) Le profil transversal des routes à construire sera pris au droit des repères et d'équerre à l'axe. Du reste, on se conformera en tout à ce qui a été dit pour les canaux.

Nivellement du profil transversal d'une route en exercice.

(116.) Le profil transversal des routes en exercice sera pareillement pris au droit des repères, et d'équerre à l'axe de la route sur laquelle on opérera. Ce profil doit embrasser toute la largeur de la route et des ouvrages qui en dépendent, tels que fossés latéraux, murs de soutien, etc., et en outre une certaine étendue au delà pour pouvoir profiler les augmentations d'ouvrages, si toutefois on avait le projet d'en exécuter, actuellement ou dans la suite. Le Nivellement se rapportera au repère correspondant. Du reste, on procédera de la même manière que pour les routes à construire.

Nivellement des profils des rivières.

(117.) Le profil longitudinal d'une rivière a pour objet de faire connaître la pente de ses eaux, et les inégalités du fond, suivant la direction de leur

cours. Le profil transversal sert à constater ces mêmes inégalités en travers. Ces deux sortes de profils sont nécessaires dans un grand nombre de cas, et surtout lorsqu'il s'agit de la construction des ponts, et de la navigation. La manière de les niveler diffère, à certains égards, de celle qui s'emploie sur les canaux et sur les routes; ce qui suit en offrira la preuve.

Nivellement du profil longitudinal des rivières.

(118.) Dans les profils relatifs aux routes et aux canaux, on opère suivant la direction de l'axe; dans les rivières, cet axe se trouve sur le courant de l'eau; il est donc impossible de le suivre, et l'on est forcé d'opérer sur les bords en côtoyant la rivière. A l'un de ces bords et de distance en distance, seront plantés des piquets qui serviront de repères. On les placera au-dessus des plus hautes eaux, afin de pouvoir suivre les opérations, quelle que soit la hauteur de la rivière. La distance entre ces repères dépendra de la rapidité du courant. Elle sera de deux kilomètres sur les rivières qui ne charrient que du sable, et dont le lit est par conséquent moins variable; sur celles qui charrient du gravier et qui ont le plus de pente, elle pourra se réduire à 500 mètres et au-dessous, suivant les variations du fond et de la pente.

Outre ces repères au droit desquels on nivellera les profils en travers, il faudra en choisir d'autres qui soient immuables, pour pouvoir servir dans tous les temps de termes de vérification et de comparaison. On aura soin d'en choisir un au point de départ, et un autre au point d'arrivée du Nivellement qu'il faudra rattacher aux quais, digues,

déversoirs, écluses, ponts, seuils de maison, et autres ouvrages d'art qui se trouveront sur la rivière ou aux environs.

Du repère de départ on aboutira avec le niveau au premier piquet sur le bord de la rivière ou au repère n°. 1; là on prendra exactement la hauteur de la mire. Du repère n°. 1, on fera chaîner le long de la rivière et suivant ses sinuosités jusqu'au repère n°. 2, auquel on arrivera aussi avec le niveau, sans suivre la chaîne ni prendre les inégalités du sol. On fera la même chose du repère n°. 2 au repère n°. 3; de ce dernier au repère n°. 4, et ainsi de suite jusqu'à la fin. Il faudra prendre bien exactement la hauteur de la mire à chaque repère marqué par un piquet; et faire la même chose à mesure qu'on passera à portée de quelques-uns des ouvrages d'art mentionnés.

Dans les pays de montagnes, surtout, le lit d'une rivière se trouve souvent au milieu de précipices qu'on ne peut aborder, sur une longueur plus ou moins considérable. Dans ce cas, on place deux repères, l'un à l'entrée et l'autre à la sortie des précipices, en chaînant le long de leur bord, on parvient à évaluer la distance qui sépare ces repères. Quant au Nivellement de l'un à l'autre, il se fait à l'ordinaire et suivant telle route qu'on veut.

Lorsqu'il se rencontrera sur le cours de la rivière ou sur ses bords, un des ouvrages d'art propres à servir, comme il a été dit de point fixe de comparaison, on ne doit pas omettre d'en mentionner la distance au repère qui précède : on sent que cette distance détermine la position de l'ouvrage sur le cours de la rivière, et qu'elle est un élément essentiel pour connaître la pente du lit depuis le point correspondant.

Tous ces divers points étant ainsi fixés au moyen du niveau, et leur distance respective déterminée par le chaînage, on les rapportera successivement à la superficie des eaux de la rivière, par rapport à laquelle on prendra leur différence de niveau. On évaluera en même temps la profondeur des eaux au droit de chacun de ces points; cette profondeur ajoutée à l'élévation de chaque point au-dessus de la surface des eaux, donnera la différence de niveau entre ce point et le fond de la rivière pris vis-à-vis.

Par ce moyen l'on connaîtra la pente d'une rivière à la surface des eaux, ou au fond du lit, entre deux points quelconques dont on aura fait choix.

Supposons, par exemple, que les deux repères n°. 4 et n°. 12, soient distans l'un de l'autre de 12,000 mètres; si le repère n°. 4 est plus élevé que le repère n°. 12 de 3,^{m}48, et que la superficie des eaux de 3,^{m}14 où la profondeur du courant est de 1,^{m}53; si enfin le repère n°. 12 est supérieur de 2,^{m}84 à la superficie du courant, qui a 1,^{m}96 de profondeur en cet endroit; il s'ensuivra de ces hypothèses :

1°. Que la pente de la surface de la rivière prise entre ces deux repères sera de 3,^{m}18 sur 12,000 mètres de longueur; et que cette pente prise au fond sera de 3,^{m}61 sur la même longueur.

Il peut arriver que dans une rivière il se rencontre un déversoir, des barrages; alors, il faut rapporter le repère correspondant, à la superficie de l'eau, et au fond du lit, tant à l'amont qu'à l'aval du déversoir, afin que l'on puisse parvenir à la connaissance de la hauteur de la chute.

Souvent et surtout dans les pays de montagnes, une rivière varie dans sa pente d'une manière assez brusque. Si, par exemple, elle quitte un pays plat pour traverser des gorges ou des défilés, sa pente doit nécessairement augmenter, et d'autant plus que les matières du fond seront plus grossières. Dans ce cas, si l'on peut suivre le bord de la rivière, pour déterminer exactement les diverses variations de sa pente, on doit à chaque station se rapporter à la superficie de l'eau.

Si, au lieu d'une rivière il s'agissait d'un canal occupé par les eaux, on s'y prendrait exactement de la même manière pour en avoir le profil longitudinal.

Nivellement du profil transversal des rivières.

(119.) Les profils transversaux d'une rivière sont surtout nécessaires, comme on l'a déjà observé, lorsqu'il s'agit de la construction d'un pont ou de la navigation. Dans tous les cas, ces profils doivent être pris au droit des repères, et perpendiculairement à la direction du courant. Il faut aussi les rapporter à ces repères, et y faire entrer les lignes des hautes, moyennes et basses eaux.

Soit le point A (*fig* 59) un repère quelconque, placé sur le bord d'une rivière dont la coupe transversale et correspondante est BEH, et dans laquelle les lignes BH, CG et DF, représentent successivement la superficie des hautes, moyennes et basses eaux. Supposons que l'époque à laquelle on prendra ce profil, soit celle des basses eaux DF. On fera placer la mire successivement aux points A, B, C et D, afin de prendre à chacune de ces positions la hauteur du carton par le moyen du ni-

veau ; ce qui fera connaître la différence de position des trois derniers points, par rapport au point A.

On n'a pas besoin d'un niveau pour obtenir le profil DEF de la partie du lit des cours d'eau qui est actuellement occupée, il suffit seulement de la sonde. Pour savoir quels sont les points du profil où l'on a mesuré les sondes, il serait nécessaire de tendre horizontalement une chaîne de D en F. Mais cette chaîne ne peut pas être tendue sans former une courbe connue sous le nom de *Chaînette;* ainsi qu'on le voit dans les cables employés aux bacs. Une ficelle s'écarterait moins de l'horizontale, mais la longueur des divisions métriques qu'on y aurait tracées, varierait par le plus ou moins de tension. Si l'on emploie une chaîne supportée de distance en distance par des morceaux flottans de liége, la *Chaînette* aura lieu non plus verticalement, mais à la surface des eaux en conséquence de l'action du courant sur le liége. Parmi ces moyens qui, comme on voit, ont tous des inconvéniens, il faut choisir celui qui en offre le moins.

Supposons que la rivière soit fort large sans être guéable. On prendra une ficelle plus longue que DF; et, après l'avoir mouillée, on la tendra sur le bord de manière qu'elle soit sensiblement horizontale. On s'assurera du poids qui doit procurer cette tension. Alors on divisera cette ficelle en mètres. On la fixera par un de ses bouts à un fort piquet planté en D. Avec le même poids déjà employé, on la tendra de D en F, et l'on mesurera par le moyen d'un bateau, la profondeur de l'eau au droit de chaque division, en ayant soin d'entretenir l'humidité de la ficelle. Quant au profil de la partie

FGH, on le prendra de la même manière que celui de ABCD.

Cette méthode n'est pas d'une précision rigoureuse, parce que la ficelle peut s'alonger, quoique avec le même degré de tension, selon qu'elle se séchera plus ou moins pendant l'opération. Mais l'alongement serait indiqué par la descente du poids de tension, et l'on pourrait y avoir égard. D'ailleurs, on sent qu'une précision géométrique n'est point exigée dans la forme du fond DEF, et que le niveleur aura toujours, par ce moyen, une approximation plus que suffisante pour l'objet qu'il se propose. Quant à la longueur de DF, on l'obtiendrait, au besoin, avec la plus grande exactitude, par le moyen de la trigonométrie.

Lorsque la rivière est guéable, quelle que soit sa largeur, on peut en prendre le profil à la chaîne. Il faut alors employer une chaîne de 10 mètres seulement, pour la tendre avec plus de facilité, et se servir de jalons au lieu de fiches. Pour rendre l'opération plus sûre, un piqueur intelligent entrerait dans l'eau, en prendrait la profondeur au droit de chaque division métrique, et la ferait connaître à l'ingénieur qui serait sur le bord.

Dans les rivières qui charrient du gravier, et qui ont la liberté de s'étendre par la corrosion des bords, il y a ordinairement une partie du lit qui n'est occupée par les eaux que dans les grandes crues, et qui hors cette époque, est à sec. Soit EF (*fig.* 60), la partie dont il s'agit. Lorsque les sondes auront été mesurées le long de BD, le profil de DEF se prendra ainsi que sur le tracé d'un canal, en partant avec la mire de la superficie des eaux au point D.

Pour obtenir le profil transversal d'un canal oc-

cupé par les eaux, on suivra la méthode indiquée pour prendre celui de ABEH (*fig.* 59). Seulement on aura soin d'employer la chaîne au lieu de la ficelle, parce qu'en général la largeur des canaux n'est pas assez considérable pour qu'une chaîne tendue d'un bord à l'autre, prenne une courbure qui s'éloigne trop de la ligne droite.

De la manière de tenir les registres des profils, du registre des profils longitudinaux des canaux, des aquéducs et des routes.

On sait, d'après ce qui a été dit précédemment, qu'un profil est une ligne quelconque dont les abscisses sont les distances à un point déterminé prises horizontalement par le moyen de la chaîne, et les ordonnées les hauteurs de mire prises de la même station aux points correspondans à l'issue de ces abscisses : que les ordonnées de deux stations différentes pouvant être rapportées au même axe des abscisses, le niveleur a la liberté de changer de station et de choisir pour terme de changement un point quelconque pris, même hors de la ligne de profil.

Il s'ensuit de là, qu'après avoir écrit dans l'une des colonnes du registre d'un profil la hauteur de mire, ou la longueur de l'ordonnée à un point quelconque, on n'a besoin que d'écrire dans une autre colonne, et sur la même ligne, la distance horizontale de ce point à un point fixe connu, c'est-à-dire, la longueur de l'abscisse correspondante; et de porter en même temps à une troisième colonne, et sur la même ligne, les observations y relatives; ayant seulement soin de marquer les changemens de station.

En adoptant cette forme, on pourrait figurer perpendiculairement sur le côté vertical de gauche du tableau, pris pour axe des abscisses, les inégalités du sol, telles qu'éminences, bas-fonds, fossés, etc. Mais à la rigueur il suffira de désigner la nature de ces endroits dans la colonne des observations; où l'on mentionnera en même temps les ouvrages d'art à exécuter, et les principales dimensions à leur donner.

Dans le cas où le profil se prend par des sondes, comme sur un étang, cette partie doit être censée une station particulière, dont la ligne de mire est la surface même de l'étang, et dont les diverses hauteurs de mire sont représentées par les sondes. Ces hauteurs égalent zéro à l'entrée et à la sortie de l'étang, parce que la profondeur des eaux y est nulle.

Comme on doit, même en profilant, se rapporter aux divers termes de vérification que l'on rencontre, lorsque ces termes ne font pas partie du tracé, et qu'ils sont hors de l'axe, on y prend la hauteur de mire en désignant la distance de chaque repère au précédent, distance mesurée sur l'axe, depuis ce dernier repère jusqu'au droit de celui où l'on est arrivé, conformément à ce qui a été dit plus haut.

Du registre des profils longitudinaux des rivières.

(120.) Il y a quelque différence entre la manière de tenir les registres pour les profils longitudinaux des rivières, et celle qui vient d'être indiquée pour les autres profils. Avant d'expliquer cette différence, on croit devoir, afin de la rendre plus sensible, placer ici un tableau du modèle des registres dont il est question.

MODÈLE de registre de Nivellement, pour le profil longitudinal d'une rivière.

DISTANCES DES REPÈRES.	HAUTEURS DE MIRE.	OBSERVATIONS.	
	3,^{m} 123.	Terme de vérification, situé, etc.	
	1, 943.		
	0, 345.	Repère 1, situé, etc.	
	2, 934.		
	0, 475.	Surface des hautes eaux . .	au droit du repère 1.
	2, 349.	Surface des eaux moyennes.	
	3, 748.		
	0, 000.	Surface des basses eaux . .	
	2, 134.	Profondeur des basses eaux.	
	2, 144.	Repère 1.	
	2, 034.		
	1, 875.		
	1, 749.		
	1, 475.	Terme de vérification, situé, etc.	
1200 ^{m}	1, 398.		
	0, 344.	Repère 2, situé, etc.	
	2, 938.		
	0, 359.	Surface des hautes eaux . .	au droit du repère 2.
	2, 233.	Surface des moyennes eaux.	
	2, 632.	Surface des basses eaux. . .	
	0, 000.		
	2, 044.	Profondeur des basses eaux.	
1145 ^{m}	1, 494.	Repère 2.	
	etc.		

La forme de ce tableau fait connaître qu'à mesure qu'on arrive à un repère quelconque, avant de se diriger sur le repère suivant, il faut prendre et écrire les hauteurs de mire relatives à la superficie des eaux et au fond du lit de la rivière. Le même procédé doit être suivi à chaque repère. Dans le modèle la berge est supposée assez élevée au-dessus de la rivière, pour qu'on ait besoin de deux stations avant d'arriver à la superficie des eaux. Mais souvent une seule n'est pas même nécessaire, et on peut en prendre la position, des stations de repère à repère. Au surplus, le lecteur verra bientôt comment des états de pente peuvent être dressés d'après ces Nivellemens.

Du registre des profils transversaux des canaux, des aquéducs et des routes.

(121.) La première chose à observer pour porter sur le registre les hauteurs de mire relatives à ces profils, est de convenir avec soi-même si l'on commencera par la droite ou par la gauche. Il est ordinaire de commencer par l'extrémité de la partie à gauche de l'axe et de finir par la droite. Mais pour plus de clarté, et afin d'éviter toute équivoque, on le mentionne en tête du tableau relatif à chaque profil. Le tableau suivant prescrit l'ordre et la forme à suivre dans ces sortes de profils.

MODÈLE de registre de Nivellement pour les profils transversaux des canaux, aquéducs et routes.

Profil au droit du repère n°. . . . . . du tracé.

DISTANCES AU REPÈRE.	HAUTEURS DE MIRE.	OBSERVATIONS.
0, m 0.	0, m 230.	Commencement du profil à gauche de l'axe.
1, 5.	1, 100.	
3, 0.	2, 000.	
	3, 114.	
5, 5.		
	0, m 478.	
7, 5.	1, 100.	
9, 0.	2, 134.	Repère n°. . . . . . de l'axe du projet.
10, 0.	2, 500.	
12, 0.	2, 800.	
14, 0.	2, 900.	
18, 0.	3, 100.	Fin du profil à droite de l'axe.

L'on voit par ce modèle qu'une attention particulière doit être donnée à la hauteur de mire, au point où l'on change de station; et au repère au droit duquel on prend le profil. Si le profil se rapportait à un aquéduc, ou à un pont à construire, et qu'on ne fût pas au droit du repère, on n'en rapporterait pas moins la hauteur de mire au repère le plus voisin, qui serait supposé être à l'intersection des deux profils.

Du registre des profils transversaux des rivières.

(122.) Le tableau suivant suffira pour expliquer la manière dont on doit porter sur le registre les mesures, tant verticales qu'horizontales, relatives aux profils transversaux du lit des rivières.

MODÈLE de registre de Nivellement pour les profils transversaux du lit des rivières.

Profil au droit du repère n°. . . . . . du tracé.

DISTANCES AU REPÈRE.	HAUTEURS DE MIRE.	OBSERVATIONS.
0, m.	0, m 345.	Repère n°. (à droite ou à gauche) de la riv.
9, 0.	3, 042. 0, 241.	
12, 0.	1, 378.	Surface des hautes eaux.
17, 0.	3, 120.	Surface des eaux moyennes.
21, 0.	3, 702. 0, 974.	
25, 0.	3, 015. 0, 000.	Surface des basses eaux au 1er. bord de la riv.
29, 0.	0, 710.	Profondeur des eaux.
31, 0.	0, 990.	
34, 0.	1, 250.	
36, 0.	1, 640.	
40, 0.	2, 150.	
45, 0.	2, 040.	
49, 0.	2, 050.	
55, 0.	2, 000.	
64, 0.	2, 100.	
70, 0.	1, 870.	
77, 0.	1, 540.	
82, 0.	1, 210.	
85, 0.	1, 020.	
90, 0.	0, 840.	
94, 0.	0, 310.	
99, 0.	0, 000. 3, 412.	Surface des basses eaux au 2me. bord de la riv.
105, 0.	1, 230.	
109, 0.	0, 341. 3, 431.	
114, 0.	2, 140.	
119, 0.	0, 456.	Repère fixe au 2me. bord marqué par, etc.

CHAPITRE IV.

De la manière de rapporter les Nivellemens de profil sur le papier.

Notions générales et préliminaires.

(123.) Nous avons déjà dit (108) que les relations qui existent entre les abscisses et les ordonnées des profils ne pouvant être saisies, on ne saurait établir entre elles une équation, pour déduire les unes des autres les longueurs de ces lignes; en sorte qu'il faut dans tous les cas procéder à leur mesure; chaque ordonnée est fournie par la hauteur de mire, et chaque abscisse se détermine par le chaînage.

Il est évident que l'on doit avant tout fixer l'échelle d'après laquelle le profil sera construit. L'idée qui se présente le plus naturellement est d'employer une seule et unique échelle pour les abscisses et les ordonnées des profils, tant en long qu'en travers, c'est-à-dire, pour les trois dimensions en longueur, largeur et hauteur : car dans l'usage habituel il n'y a pas diversité de mesure à ce sujet.

Cependant, afin d'éviter les trop grandes longueurs, on emploie quelquefois dans les profils en long, une échelle pour les hauteurs et une autre moindre pour les longueurs horizontales. Cette méthode est vicieuse en ce qu'on ne peut alors juger des pentes que par la comparaison des nombres qui expriment les hauteurs avec ceux qui expriment les longueurs; on s'impose ainsi un calcul qui prend

du temps en appliquant l'esprit; tandis que, l'échelle étant la même pour les hauteurs et les longueurs, ce sont alors les yeux qui jugent; les rapports sont exprimés au naturel, et l'on n'a recours aux nombres qu'autant que l'on veut connaître ces rapports avec la dernière précision.

Cette unité d'échelle pour les longueurs et les hauteurs est néanmoins quelquefois inutile et même incommode. Cela arrive quand les hauteurs sont le principal objet qu'on a en vue. Alors on peut employer pour les longueurs une échelle particulière et plus petite que pour les hauteurs, malgré les inconvéniens déjà signalés de ce système auxquels il s'en joint, dans certains cas, un autre que voici : Quand le profil en long contient des ponts, ponceaux et aqueducs, ces ouvrages d'art étant représentés par une plus grande échelle dans la hauteur que dans la largeur, leur voûte prend ordinairement la forme surhaussée, quelque surbaissée qu'elle puisse être en effet. Il serait pourtant très-utile qu'elle se présentât au premier aspect sous sa véritable forme, et qu'on n'eût pas besoin du compas pour la constater. Cet inconvénient est grave, comme l'on voit, et le seul motif qui le pallie est que les hauteurs sont alors le principal objet qu'on se propose.

Des profils longitudinaux.

(124.) Quand on rapporte des profils sur le papier, la première opération consiste à prendre pour axe des abscisses successivement tous les rayons de mire ou de visée, station par station, et à leur rapporter les hauteurs de mire respectives, ainsi qu'il a été dit. Ce procédé qui donne d'abord au-

tant d'axes des abscisses qu'il y a de stations, est la vraie manière de figurer sur le papier tous les points de la ligne profilée tels qu'ils sont sur le terrain; et si l'on emploie une échelle assez considérable pour pouvoir coter les hauteurs de mire sur les ordonnées, et les distances qui séparent les ordonnées sur les axes des abscisses, le profil exprimera non-seulement la figure du terrain, mais encore toute la série des Nivellemens par le moyen desquels on aura déterminé cette figure. Mais cette multiplicité des axes des abscisses jeterait beaucoup de confusion dans un profil; car, pour connaître la hauteur respective de deux points quelconques, on serait obligé de recourir au calcul des hauteurs de mire arrière et avant. Il est bien plus simple de rapporter toutes les ordonnées ou hauteurs de mire à un seul axe des abscisses, c'est-à-dire, à une seule ligne de niveau. Cet axe peut être pris au-dessus ou au-dessous du profil. La première méthode a assez généralement prévalu jusqu'aujourd'hui; mais elle n'a point les avantages que la seconde offre, considérée sous des rapports généraux d'utilité publique.

MODÈLE de registre de Nivellement des profils longitudinaux rapportés aux diverses stations.

NUMÉRO de STATION.	DISTANCES.	HAUTEUR de MIRE.	OBSERVATIONS.
1.	0.^{m}	1,^{m}934.	Repère 1er. terme de départ.
	7.	2, 400.	
	15.	3, 100.	
	30.	2, 300.	
	47.	3, 100.	
	62.	3, 400.	
	80.	3, 700.	
		3, 314.	
	98.	———	Repère 2e.
2.		2, 575.	
	18.	3, 400.	
	33.	3, 100.	1er. bord d'un canal.
	36.	3, 700.	
	42.	3, 700.	
	45.	3, 000.	2e. bord dudit canal.
	51.	2, 300.	
	68.	1, 900.	
		0, 713.	
	84.	———	Repère 3e.
3.		3, 845.	
	20.	2, 100.	
	48.	1, 700.	
	64.	1, 100.	
		0, 614.	
	74.	———	Repère 4e.

Suite du registre.

NUMÉRO de STATION.	DISTANCES.	HAUTEUR de MIRE.	OBSERVATIONS.
		3,m 541.	
4.	36.m	2, 900.	Repère 5e.
	54.	2, 146.	
	28.	1, 400.	
	34.	1, 100.	
	48.	2, 400.	
		3, 754.	
	59.		Repère 6e.
5.		1, 456.	
	30.	1, 300.	
		3, 475.	
	46.		Point pris hors du tracé.
6.		1, 112.	
	64.	2, 400.	
	82.	2, 900.	
	89, 50.	3, 756.	Terme de vérification, situé, etc.
		3, 147.	
	95.		Repère 7e.
7.		1, 564.	
	36.	1, 200.	
	58.	1, 100.	
	74.	1, 900.	
		3, 454.	
	88.		Repère 8e.
8.		2, 134.	
	6, 40.	3, 578.	Terme d'arrivée.

Le premier profil à rapporter doit être destiné à servir de minute, et contenir, par cette raison, toutes les mesures prises sur le terrain, toutes les lignes employées dans les opérations.

Lorsqu'on veut rapporter un profil à une seule ligne supérieure, cette ligne doit franchir le point culminant. Par conséquent, pour connaître la moindre hauteur à laquelle cette ligne peut être tirée, on doit préalablement déterminer l'élévation du point culminant du profil au-dessus du point de départ.

Lorsque le profil longitudinal doit être rapporté à une seule ligne horizontale inférieure, il faut placer l'axe au-dessous du point le plus bas.

CHAPITRE V.

Usage des principes précédens pour rapporter sur le papier, les profils longitudinaux et transversaux relatifs aux canaux, aux aquéducs, aux routes et au lit des rivières.

Application aux profils des canaux.

(125.) Dans le tracé d'un canal, plusieurs cas se présentent; il peut arriver :

1°. Que ce canal doive être creusé en belle terre, de façon que le déblai fournisse au remblai des chaussées.

2°. Qu'il passe à travers une butte qu'on sera obligé de couper à ciel ouvert.

3°. Qu'il franchisse un bas-fond où il faudra le soutenir par des terres rapportées.

4°. Qu'il traverse une montagne par un percement souterrain.

5°. Qu'il soit soutenu sur le penchant d'un rocher.

6°. Enfin, qu'il franchisse le lit d'une rivière par le moyen d'un pont-aquéduc.

Supposons que d'après un nivellement de détail, on ait, en suivant les procédés précédemment décrits, construit un profil longitudinal. On prendra sur l'échelle des hauteurs la profondeur des déblais et la hauteur des remblais calculés; on la portera sur la verticale qui passe par chacun des repères qu'on aura élevés respectivement à partir de ces mêmes repères, savoir : les déblais en contre-bas et les remblais en contre-haut; et par les points ainsi déterminés, on tirera la ligne du plat-fond. On marquera, en même temps, au droit de chaque repère, la profondeur à déblayer ou la hauteur à remblayer, selon qu'il devra y avoir déblai ou remblai. Enfin, on prendra la hauteur du couronnement des chaussées au-dessus du plat-fond du canal, et, par l'extrémité de cette hauteur, on tirera une ligne ponctuée parallèle à celle du plat-fond.

Ce profil ainsi construit fournit les observations suivantes :

1°. Dans les parties où la ligne de terre tombe au-dessous de celle représentant le plat-fond du canal, il n'y aura que remblai.

2°. Dans les parties où la ligne de terre passe au-dessus de celle qui représente le couronnement des chaussées, il n'y aura que déblai.

3°. Dans les parties où la ligne de terre tombera entre les deux lignes de plat-fond et de couronnement des chaussées, il y aura déblai et remblai.

S'il passe une rivière, un canal, ou seulement des eaux pluviales, dans les endroits où il n'y a que remblai, il faudra construire un aquéduc qu'on tracera sur le canal.

Lorsque vers la fin du profil le terrain baisse brusquement, c'est en cet endroit qu'on établit des usines s'il s'agit d'un canal d'irrigation, ou des écluses si c'est un canal de navigation. Dans tous les cas, la ligne de plat-fond du canal s'y brise, et prend la forme relative à la chute nécessaire, soit pour les engins, soit pour l'écluse.

(126.) S'il s'agit d'une coupe transversale, et que les diverses parties du canal soient supposées avoir les dimensions suivantes, savoir :

La largeur du plat-fond, 8,^{m}.

La hauteur du couronnement des chaussées au-dessus du plat-fond 2,^{m}5.

La largeur du couronnement des chaussées 2^{m}.

La largeur du plat-fond des contre-canaux ou contre-fossés 1,^{m}.

Leur profondeur 1,^{m}.

Le talus tant intérieur qu'extérieur des chaussées du canal, et celui des bords des contre-fossés, le même que celui de la diagonale du carré, c'est-à-dire, sous l'inclinaison de 45 degrés.

Toutes ces dimensions seront prises sur la même échelle, tant pour les largeurs que pour les hauteurs. Mais il faut observer qu'elles ne sont qu'hypothétiques, et se rapportent plutôt à un canal d'irrigation qu'à tout autre; car s'il s'agissait, par exemple, d'un canal de navigation, le couronnement des chaussées devrait avoir au moins 4 mètres de largeur pour le hallage.

La coupe transversale étant supposée faite, exa-

minons successivement les divers cas qui peuvent se présenter.

1er cas. Le canal peut être seulement destiné à l'irrigation, et le percement peut avoir lieu dans des matières solides, qui se soutiennent d'elles-mêmes, telles que la pierre, le tuf, etc; ou dans des matières qui ont besoin d'être soutenues, telles que la terre, l'argile, etc.

Dans quelque matière que se fasse le percement, la largeur du canal y sera égale à celle réduite, qu'il a aux endroits où des chaussées sont construites pour faciliter le passage des eaux.

Si les matières peuvent se soutenir par elles-mêmes, on prendra une hauteur qui excède celles des eaux d'environ un demi-mètre; et, à cette hauteur, on établira le ciel du percement, dont la forme sera rectangulaire.

Si les matières n'avaient pas assez de consistance pour se soutenir par elles-mêmes, on construirait en bâtisse des pieds-droits de chaque côté, fondés en contre-bas du plat-fond; et aux deux tiers, ou à peu près à la hauteur de la ligne de couronnement des chaussées, on établirait la naissance de la voûte destinée à supporter les matières supérieures.

2me cas. Lorsque le canal est tout à la fois destiné à l'irrigation et à la navigation, la largeur dans œuvre doit-être la même que dans le cas précédent.

Si le percement est fait dans le rocher, le tuf, etc., il faut lui donner une forme rectangulaire et tenir son ciel assez élevé au-dessus des plus hautes eaux, pour qu'une barque, chargée des matières les plus volumineuses, ne puisse pas y toucher.

Si le percement est pratiqué dans la terre, l'argile, etc., en faisant ce qui est prescrit ci-dessus,

il faut avoir soin que l'imposte de la voûte soit au-dessus du couronnement des chaussées, et l'intrados assez élevé pour le passage des barques dont le chargement est le plus haut.

3me cas. Lorsque le canal est exclusivement affecté à la navigation, et que par conséquent les eaux doivent y être dormantes ou à peu près, sa largeur dans œuvre se détermine suivant la circonstance où l'on se trouve.

Si, un canal étant destiné à la navigation, l'on ne veut pas se servir de la *cordelle* pour faire avancer la barque, on emploie des banquettes latérales d'environ un mètre de largeur, et sur lesquelles les hommes destinés au tirage dans le percement, peuvent manœuvrer sans peine. Le couronnement de ces banquettes est à la même hauteur que celui des chaussées hors du percement, et l'on a soin de les marquer sur la coupe en travers.

Application aux profils des aquéducs.

(127.) Dans la construction des aquéducs, il peut arriver :

1°. Que l'aquéduc soit entièrement au-dessous de la surface de la terre, en sorte néanmoins qu'on puisse le construire dans une tranchée à ciel ouvert.

2°. Qu'une partie de l'aquéduc soit au-dessous, l'autre au-dessus de la surface du terrain.

3°. Que l'aquéduc traverse une montagne par un percement souterrain.

4°. Enfin, qu'il franchisse un bas-fond où il doive être entièrement établi au-dessus du terrain.

C'est ce qui fait qu'il y a trois différentes espèces d'aquéducs; les uns *voûtés*, les autres *à ciel ou-*

vert; et ceux de la troisième sorte *en tuyaux de conduite.* Tous ces aquéducs sont en bâtisse, et doivent être classés parmi les ouvrages d'art. La forme particulière de chacun d'eux, et la manière d'en tracer la coupe transversale, vont être examinées ici succinctement.

Dans les aquéducs voûtés, on distingue deux cas : le premier est celui où l'eau occupe toute la largeur de l'aquéduc; ce qui arrive quand cette construction doit porter un certain volume d'eau. Dans le second cas, on partage la largeur de l'aquéduc en deux parties, dont l'une est occupée par une banquette d'environ un mètre de haut, dans laquelle se trouve la rigole qui conduit les eaux, et quelquefois une conduite en tuyaux de plomb, de fer, ou de poterie; l'autre partie de la largeur de l'aquéduc est destinée au passage du surveillant. Le dernier des deux cas qui viennent d'être posés, a lieu lorsque le volume d'eau à conduire est peu considérable. Dans l'un et l'autre cas la voûte doit être assez élevée pour qu'un homme puisse parcourir l'aquéduc dans toute sa longueur intérieure; et dans le second cas, la largeur du passage doit être au moins d'environ six décimètres.

Les aquéducs à ciel ouvert sont construits en maçonnerie lorsqu'on veut empêcher que les eaux ne se perdent par les filtrations, et qu'on a intérêt de les ménager. Pour empêcher que les eaux pluviales n'y entraînent de la terre, il faut établir de chaque côté des banquettes avec des contre-fossés.

Les aquéducs en tuyaux de conduite sont les plus économiques, surtout quand les tuyaux sont de bois ou de poterie. Ils servent généralement pour les fontaines, soit publiques, soit particulières, qui

d'ordinaire n'exigent pas un grand volume d'eau. En ce cas, les tuyaux se placent dans un petit canal en maçonnerie, recouvert de dalles qu'on peut enlever à volonté pour changer ceux qui se cassent.

Lorsque les conduits voûtés ne sont pas entièrement dans la terre, il est essentiel que des dalles les couvrent, et d'y pratiquer deux égoûts en forme de fronton, pour empêcher qu'elles ne soient dégradées par les eaux pluviales.

Pour tracer la coupe transversale d'un aquéduc, de quelque espèce qu'il soit, on doit d'abord tirer la ligne du plat-fond à la profondeur ou à la hauteur portée par le profil en long, puis élever sur cette ligne une perpendiculaire passant par le repère, et indiquant la ligne du milieu. Avec ces deux lignes, on donnera telle forme et telle dimension qu'on voudra à la coupe en travers.

Application au profil des routes.

Du profil des routes tracées et à construire.

(128.) Le tracé d'une route présente différens cas, suivant les accidens du sol où on se propose de la construire. En effet, la route peut être établie dans un terrain plan et uni, ou sur le penchant plus ou moins ardu d'une montagne; elle peut rencontrer un bas-fonds à franchir, une butte ou une rivière à traverser.

Le profil longitudinal de la route étant supposé construit, une observation à faire est: qu'il y aura remblai partout où les lignes de pente seront supérieures au profil, et déblai là où elles lui seront inférieures.



Lorsqu'on aura construit la coupe en travers, on examinera si la chaussée doit être soutenue par un mur, ou terminée en talus.

Dans le premier cas, on marquera le mur de soutenement avec un talus extérieur convenable, et à côté, le fossé, tel que le plat-fond soit supérieur aux fondations de ce mur.

Dans le second cas, au delà du talus de la chaussée, on laissera l'espace d'un mètre de largeur au moins; et on tracera la coupe du fossé.

Les fossés latéraux seront pareillement tracés; seulement on aura soin, dans le cas où un terrassement en talus serait substitué au mur de soutenement, de ne pas laisser de berme entre le talus et le fossé, pour éviter un trop grand déblai dans le coupement de la bute.

Du profil des routes en exercice.

(129.) Les profils tant en long qu'en travers des routes en exercice, exigent des détails particuliers; soit à cause de l'irrégularité de situation des repères, soit à cause des changemens en augmentation ou autrement, que les ouvrages peuvent subir.

Le profil longitudinal d'une route en exercice, et rapporté à l'axe de niveau par le moyen des abscisses et des ordonnées étant construit, supposons qu'il ait été pris des repères fixes; ces repères qui ne peuvent se trouver sur l'axe, mais qui sont des bornes latérales ou des objets immuables choisis hors de la route, étant, pour l'ordinaire et par cette raison, plus hauts ou plus bas que les points correspondans de l'axe, seront désignés sur le tracé par des marques irrégulières, et le point qui exprime leur

position sera placé sur l'ordonnée y relative, autant au-dessus ou au-dessous du profil, qu'est grande la différence trouvée par le Nivellement.

On sait qu'en prolongeant au-dessus du profil longitudinal les ordonnées correspondantes à chaque repère, elles deviennent les directrices du profil en travers, et que c'est sur ces prolongemens qu'il faut supposer les repères pour procéder au tracé de ce dernier profil sur le papier. Mais ces repères peuvent être situés à droite ou à gauche de l'axe sur le terrain ; il faudra donc, sur le papier, les placer ou à la droite ou à la gauche du profil transversal, suivant la position qu'ils auront sur le terrain par rapport à l'axe. Par conséquent, lorsqu'on voudra rapporter sur le papier les profils en travers, les repères seront supposés sur les ordonnées prolongées dans la partie la plus proche ou la plus éloignée du profil en long, selon qu'ils seront situés sur le terrain à droite ou à gauche de l'axe.

Dans ces sortes de profils, il y a deux cas à distinguer. Le premier est celui où il s'agit d'une route en bon état, et à laquelle on ne se propose de faire aucun changement, mais qui n'a jamais été profilée. Le second cas est celui où, la route n'ayant pas les dimensions nécessaires, on a le projet de l'élargir, de l'exhausser, etc.

Dans l'un et l'autre cas, il est indispensable de profiler préalablement la route telle qu'elle est.

Application au profil des rivières.

(130.) On considérera trois cas :

1°. Celui où la rivière est réunie en une seule branche, et laisse sur l'une de ses rives un certain espace qu'elle couvre dans le temps des hautes eaux.

2°. Celui où elle se divise en deux branches séparées par une île qui n'est couverte que dans les grandes crues.

3°. Enfin le cas, où de chaque côté, la rivière est bordée d'un quai.

Ayant construit le profil longitudinal, et désigné la ligne longitudinale du fond du lit d'une rivière, celle de la surface des basses eaux, celle de la surface des eaux moyennes, et celle de la surface des plus hautes eaux, le tout tracé ainsi qu'il a été dit précédemment, on disposera les repères rapportés à leur hauteur respective, tant au-dessus du fond qu'au-dessus des basses, moyennes et hautes eaux. On tirera les trois lignes de niveau, et l'on marquera sur la première l'intervalle des ordonnées ; sur la seconde on désignera la distance d'un repère à l'autre, et sur la troisième on cotera la distance de chaque repère au point de départ ; on menera, pareillement par les autres repères, les ordonnées que l'on prolongera autant qu'il sera nécessaire.

Le chapitre où ont été indiqués les moyens de construire les profils longitudinaux et transversaux, contient aussi la manière de rapporter sur le papier ces mêmes profils pour les canaux, les aquéducs, les routes et le lit des rivières ; on n'a fait, pour ainsi dire, que rapporter les différens cas particuliers qui pourraient s'offrir relativement à chacun des objets dont il s'agissait ; le lecteur étant supposé avoir acquis dans ce qui avait précédé les connaissances nécessaires pour construire un profil longitudinal et transversal, on s'est interdit des répétitions qui eussent grossi le volume sans aucune utilité.

CHAPITRE VI.

Observations sur l'usage des profils longitudinaux et transversaux.

(131.) Après avoir parlé de la manière de prendre les profils sur le terrain, et de les rapporter sur le papier, il reste à dire un mot de leur usage dans les projets. Mais il faut d'abord observer que les profils étant particulièrement destinés à évaluer les toisés des déblais et remblais, sont inséparables de la connaissance de la nature du terrain à exploiter, connaissance qui ne peut s'acquérir que par les *sondes*. Ainsi, avant de traiter des autres objets, on va enseigner à *sonder* le terrain sur lequel les opérations doivent avoir lieu.

On ne se propose point d'expliquer la manière de faire les toisés des travaux à exécuter. Comme il ne s'agit que de mesurer des solides dont la forme et les dimensions sont connues, ce qui se fait par l'application des principes de la géométrie, il suffira de dire ici comment on emploie les profils pour y parvenir.

Description et usage des Sondes.

(132.) *Sonder le terrain* est s'assurer de la nature des matières qu'on a à exploiter. S'il s'agit, par exemple, de creuser un canal, il faut savoir préalablement si l'on ne trouvera que de la terre, ou si l'on rencontrera le rocher, le tuf, etc. Cet objet est d'autant plus essentiel, qu'il influe tout ensemble sur la

forme à donner aux coupes et sur les prix des travaux. Il est inutile d'observer qu'on n'a besoin de sonder le terrain que dans le cas où l'on a des fouilles à faire ou des pilots à enfoncer : cette opération est évidemment superflue lorsqu'on n'a que des remblais.

Il y a trois manières de sonder le terrain : La première, qui est particulièrement en usage lorsqu'on ne doit creuser qu'à de très-petites profondeurs et à sec, consiste à se servir simplement de la pioche ou du louchet.

La seconde manière qu'on emploie lorsqu'il faut creuser à de grandes profondeurs ou dans l'eau, consiste à se servir de la sonde dite *anglaise*.

La troisième manière, en usage à sec et à des profondeurs moyennes, est d'employer la tarière du mineur.

Description de la Sonde anglaise.

(133.) La sonde anglaise, est en fer. Elle se compose de plusieurs pièces terminées à écrou par un bout, et à vis par l'autre ; ce qui rend toutes ces pièces susceptibles de s'assembler bout à bout, et fait que l'on peut allonger l'instrument à volonté.

Ces pièces, qui ne sont pas toutes de la même longueur, les plus longues ayant 4 mètres, les plus courtes un, et les autres deux ou trois, ont la forme d'un prisme quadrangulaire, dont les angles sont coupés à pans. Le carré produit par la section a 4 ou 5 centimètres de côté.

La première pièce a ordinairement un mètre 30 centimètres de longueur. Sa tête est un peu renflée et percée d'un trou cylindrique d'environ 7 cen-

timètres de diamètre, destiné à recevoir un levier pour faire tourner la machine. L'autre extrémité porte un écrou.

Outre ces pièces, il y a encore deux *mèches* qui sont les parties essentielles de la machine.

Qu'on se figure un cylindre creux d'environ 6 centimètres de diamètre extérieur, ouvert dans sa longueur sur la cinquième ou sixième partie de son pourtour, terminé dans le bas en forme de tarière ou de vilebrequin, fermé par le haut et portant une vis. Telle est la première de ces deux pièces qu'on n'emploie que dans la terre, l'argile et les autres matières qui opposent peu de résistance. La partie évidée se remplit des matières dans lesquelles elle s'enfonce, et dont elle fait connaître la nature à mesure qu'on la retire. Cette pièce est ordinairement de 7 décimètres de longueur, et s'adapte d'abord à la tige de tête, puis aux autres successivement, à mesure que la sonde arrive à une certaine profondeur.

La seconde *mèche*, espèce de ciseau à redans, a une largeur un peu plus forte que le diamètre extérieur de la première, et une longueur d'environ cinq décimètres. Elle est terminée dans la partie supérieure par une vis qui peut aussi s'adapter aux autres parties. Sa destination est de percer le rocher, le tuf, et en général toutes les matières qui résistent à la tarière.

Comme la tige de tête ne s'emploie qu'au commencement de l'opération, lorsqu'on lui en substitue d'autres qui ne peuvent pas recevoir le même levier, on se sert, pour tourner la machine, de deux leviers en fer d'environ 66 centimètres de longueur et à peu près de même forme, et de même grosseur que les tiges de la sonde. Ces leviers s'évasent

à un des bouts où ils portent une échancrure quadrangulaire, de calibre avec les tiges qu'elle reçoit et qu'elle embrasse. On peut alors faire tourner circulairement la sonde sur elle-même.

Enfin, pour retirer la sonde lorsqu'on a cessé d'employer la tige de tête, on se sert de deux anneaux particuliers faisant les fonctions d'anses. Pour avoir l'idée de leur construction, que l'on se figure deux carrés de calibre avec les tiges de la sonde; que ces deux carrés soient ouverts d'un côté, et ensuite assemblés de manière que leurs plans soient d'équerre et leurs ouvertures extérieures l'une par rapport à l'autre. Tels sont les anneaux ou anses dont il s'agit. On n'a pas besoin de dire que ces anneaux doivent aussi être en fer.

Ce sont là toutes les parties qui entrent dans une sonde. Une description succincte faite sur la (*fig.* 61) les rendra plus faciles à concevoir.

AB est la première pièce dont la tête est percée d'un trou cylindrique C, qui reçoit un levier, et dont l'extrémité inférieure B est creusée en écrou. DE est une des pièces additionnelles. A l'un de ses bouts D, elle porte une vis qui est reçue par l'écrou en B; et à l'autre E, elle est percée par un écrou, le même que ce dernier. F représente la coupe en travers de ces deux pièces.

GH est la mèche à tarière portant dans la partie supérieure la vis G, destinée à être reçue par les écrous en B et E.

K est la coupe qui représente l'évidement de cette pièce.

LM est le ciseau destiné à percer les matières dures, et portant une vis dans sa partie supérieure L pour pouvoir s'adapter aux autres pièces.

N est la coupe de ce ciseau suivant la ligne VX.

OP est le levier dont l'enfourchure en O doit recevoir le corps de la pièce DE. La partie Q est le plan de l'anneau destiné à servir d'anse pour retirer la machine, et la partie T en est la coupe, prise sur la ligne RS.

L'usage de cette machine exige un certain échafaudage plus ou moins compliqué, selon qu'on opère dans l'eau ou à sec, à une profondeur plus ou moins considérable, etc. Cet échafaudage est destiné, 1°. à tenir constamment la machine d'à-plomb; 2°. à la retirer pour évacuer les matières amassées dans la pièce GH, pour changer quelque partie, en ajouter quelque autre, etc.

La façon de s'en servir est la même que pour la tarière : au lieu de poignée on emploie le levier pour la faire tourner.

A mesure qu'on enfonce, on ajoute successivement des pièces additionnelles; et si l'on trouve une barre de rocher ou de tuf à percer à la partie GH, on substitue le ciseau LM.

Description de la Sonde du mineur.

(134.) La tarière du mineur est composée d'une poignée en bois AB (*fig.* 62.), adaptée à une tige de fer CD. Mais il y a ordinairement plusieurs pièces additionnelles, telles que EF, qui s'assemblent à vis, ainsi que celles de la sonde anglaise, ou par enfourchement et au moyen de vis à tête arrêtées par des écroux.

A toutes ces pièces est jointe la pièce essentielle GH, et qui s'assemble avec les autres de la même manière.

Cette sonde exige beaucoup moins d'appareil que la précédente : seulement il faut la charger pour la

faire mordre, au lieu que la sonde anglaise n'a besoin que de son propre poids. La sonde du mineur ne sert à sonder que jusqu'au rocher ; car, ordinairement on n'y adapte pas de ciseau. Du reste, elle s'emploie de la même façon qu'une tarière.

Usage des Sondes dans les profils des canaux.

(135.) Lorsqu'on dresse le devis d'un canal, il est indispensable de connaître préalablement le toisé, non-seulement de tout ce qui tient aux ouvrages d'art, tels que ponts, aquéducs, déversoirs, murs de soutenement, etc.; mais encore de tous les déblais et des remblais pour chaussées. Dans le calcul des déblais, il faut de plus distinguer les diverses qualités de matières à déblayer, telles que la terre franche, l'argile, le tuf, le rocher, etc. Les dimensions de ces divers élémens doivent donc être connues, et par conséquent représentées sur les profils d'après les sondes. Des exemples rendront la chose plus sensible.

Soit A B (*fig.* 63), une portion du profil en long d'un canal, dont C D est la ligne de plat-fond, A' B' la ligne de couronnement des chaussées, et l'horizontale E F, l'axe des abscisses. Supposons que la partie G H forme sensiblement une ligne droite, c'est-à-dire, qu'il n'y a de G en H, ni flaques, ni éminences bien remarquables; et qu'en sondant aux points G et H, et à d'autres endroits intermédiaires pris à des distances connues de G, le rocher a été trouvé caché sous une couche de terre, à des profondeurs telles qu'en les rapportant aux points y relatifs du profil G H, on obtienne la ligne K L pour la superficie du rocher. Il est clair, d'après ces suppositions, que dans la partie du profil considérée,

GKLH, exprimera de la terre, et KMNL du rocher à déblayer.

Traçons au droit des points extrêmes G et H de cette même partie, et conformément à ce qui a été prescrit, les profils transversaux OPQ, RST, accompagnés des coupes du canal *abcdefg*Q et *hiklm*T. Si sur chacun de ces profils en travers on rapporte deux sondes particulières, faites l'une à droite et l'autre à gauche des points P et S, et à des distances connues de chacun de ces points; ces sondes détermineront la position du rocher dont *no* et *pq* sont supposées représenter la superficie. Par conséquent, dans la première de ces coupes, on aura, 1°. *nosr* pour la section du terrain à déblayer; 2°. *ndeo* pour celle du rocher à enlever; 3°. *abcr* et *sfg*Q pour celle des remblais à former; et dans la seconde coupe on aura, 1°. *hpqkt* pour la section du déblai en terre; 2°. *piq* pour celle des déblais en rocher; 3°. *tlm*T pour celle des remblais.

D'après cela, on saisira aisément la manière dont il faut procéder au toisé des divers genres d'ouvrages de cette partie. En effet :

1°. Le déblai de la partie en terre est représenté par un solide dont les deux bases opposées et parallèles sont les figures *nosr* et *hpqkt*, et dont la hauteur est E'F'.

2°. Le déblai de la partie en rocher forme un autre solide à bases parallèles désignées par les figures *ndeo* et *piq*, et dont la hauteur est pareillement E' F'

3°. Le remblai de la chaussée à droite forme aussi un solide à bases parallèles *sfg*Q et *tlm*T, et de même hauteur E'F'.

4°. Enfin, le remblai de la chaussée à gauche

forme une espèce de coin dont la tête est la figure *abcr*, dont la pointe aboutit à *h*, et dont la longueur, perpendiculaire à la tête, est encore E′ F′.

Si l'on suppose que le rocher disparaisse, les figures *ndeo* et *piq* s'anéantiront, et dans ce cas, le déblai du rocher étant nul, celui de la terre sera représenté par le solide dont les bases opposées et parallèles seront exprimées par les figures *rdes* et *hikt* et la hauteur par E′ F′.

Si la grande déclivité du terrain sur lequel on établit le canal, ne permettait pas que l'on construisît la chaussée à droite, et qu'il fallût lui substituer un mur de soutenement, le toisé de ce mur deviendrait celui d'un solide dont les bases parallèles seraient représentées par les sections au droit des points G et H, et dont la hauteur serait E′ F′.

Il a été supposé que la chaussée à gauche s'anéantissait au point *h*. Mais ce point pourrait être inférieur à la superficie du terrain, auquel cas la chaussée s'anéantirait entre G et H, au droit d'un certain point V. Alors on aurait deux formes de coin dont les têtes seraient respectivement en G et H et les pointes en V, avec cette différence que celui dont la tête serait en G exprimerait un remblai et que l'autre exprimerait un déblai. Pour en déterminer les longueurs, voici le procédé qu'il faut suivre :

Soit A D (*fig.* 64), la ligne du couronnement de la chaussée, B C la ligne du terrain sur l'axe de la chaussée à gauche, A B, la hauteur de cette chaussée au point B, et C D la hauteur du terrain au-dessous de la banquette formant la continuité de la chaussée. On aura AB : CD : : AV : VD;
et AB + CD : AB : : AV + VD ou AD : AV. Or les trois premiers termes de cette dernière propor-

tion sont connus; donc on connaîtra aussi AV et par conséquent VD = AD — AV.

Ce qui indique la manière de déterminer la longueur E' V' et V' F' (*fig.* 63) des deux coins dont il s'agit.

Avec un peu d'attention, l'on verra que la cubature de tous ces divers solides se rapporte, soit immédiatement, soit par décomposition, au prisme ou à la pyramide entière ou tronquée. Mais pour cela il faut que GH puisse être sensiblement regardée comme une ligne droite, et qu'entre les lignes de terre OQ et RT, la surface du terrain n'ait point d'inégalités saillantes ou rentrantes : s'il en avait, on sent que la face du solide de terre, qui est terminée par les lignes *rs* et *ht*, en altérant la forme de ce solide, en rendrait aussi le toisé défectueux.

Il résulte de là que lorsqu'un profil longitudinal contient des éminences ou des bas-fonds, comme par exemple le profil ABCDE (*fig.* 65) dans lequel FG exprime le plat-fond du canal, pour savoir à quels points doivent être prises des coupes en travers, il faut le décomposer en parties AB, BC, CD, DE, telles que des lignes droites tirées de A en B, de B en C, etc., coïncident à peu près avec elles. Les points A, B, C, etc. seront ceux où l'on devra prendre les profils transversaux, et l'on opérera sur chaque partie AB, BC, etc. de la manière qui a été indiquée.

Soit encore ABCDEF (*fig.* 66) une partie du profil en long d'un canal dont le plat-fond est GH. Il est visible qu'il doit y avoir remblai sur la partie BCDE. D'après ce qui vient d'être dit, on verra que c'est au droit des points C et D, qu'il faut prendre

des coupes transversales par le moyen desquelles on aura le toisé des remblais.

Il peut arriver qu'un canal doive passer à travers une montagne trop haute pour être déblayée à ciel ouvert. Lorsque ces percemens souterrains ont une certaine longueur, on pratique des puits ou soupiraux qui, partant de la superficie du terrain, aboutissent au plat-fond du canal, soit pour en accélérer la confection, soit pour établir des courans d'air. En supposant qu'il s'agisse de pratiquer de tels puits, le profil longitudinal exprimera leurs profondeurs respectives. La coupe transversale d'un percement, donnant les dimensions en largeur et hauteur du canal souterrain, et le profil longitudinal désignant sa longueur, on aura les trois élémens nécessaires pour en connaître la cubature.

Quant aux ponts, aquéducs, déversoirs, etc. l'usage est d'en développer les détails sur une plus grande échelle qui puisse donner avec exactitude jusqu'aux centimètres. Et l'on sait que la cubature de ces constructions s'obtient par la combinaison du plan et des coupes.

Usage des profils des aquéducs.

(136.) Dans la construction des aquéducs on doit distinguer deux choses, savoir : les ouvrages d'art et les déblais à faire pour les établir. Ainsi pour en dresser le devis estimatif, il est indispensable de connaître la cubature de chacun de ces deux objèts avec la diversité des élémens qui y entrent. Par exemple, dans les ouvrages d'art, on doit distinguer la pierre du moellon, et dans les déblais on

doit mettre la même distinction entre la terre, le sable, le rocher, le tuf, etc.

Pour toiser les déblais, la première chose à faire est de déterminer la largeur du plat-fond, et les talus à donner aux côtés de la tranchée. En traçant la coupe de l'aquéduc sur les profils transversaux, et en se conformant d'ailleurs à tout ce qui a été dit précédemment sur le toisé des déblais des canaux, on aura la cubature des déblais de l'aquéduc.

Les remblais des aquéducs n'ont lieu qu'en bâtisse. Or, en développant cette partie du profil, et en comparant le plan avec les coupes, tant en long qu'en travers, on en connaîtra le volume avec toute la précision possible.

La cubature de la partie courante des ouvrages d'art, quelle que soit leur forme, se trouvera aisément par le moyen de la coupe en travers et de la longueur. Ainsi, après avoir trouvé les superficies des coupes des portions à construire en pierre, en libage et en moellon, on multipliera successivement chacune de ces trois quantités par la longueur de la partie des ouvrages dont il s'agit.

Usage des profils des routes.

Usage des profils des routes à construire.

(137.) Dans la construction à neuf d'une route, il y a ordinairement des déblais et des remblais.

Les déblais peuvent être pratiqués dans diverses matières, telles que la terre, le rocher, etc. Les remblais sont en terre et peuvent être accompagnés de murs de soutenement. Or, ces divers objets se toisent tous d'après les profils, tant en long qu'en travers, et d'après ce que l'on a dit plus

R 2

haut sur le toisé des déblais et des remblais des canaux.

Usage des profils des routes en exercice.

(138.) Dans les routes en exercice et qu'on ne se propose pas d'agrandir, le profil le plus intéressant est le profil longitudinal. Sa destination principale est de faire connaître les pentes comparativement aux longueurs.

Une route déjà construite et qu'il s'agit d'agrandir, peut exiger les mêmes ouvrages qu'une route à construire à neuf, c'est-à-dire, qu'il peut y avoir des déblais et des remblais accompagnés de murs de soutenement. Les profils en travers donnent la coupe des uns et des autres.

Usage des profils des rivières.

(139.) On a observé que le profil longitudinal du lit d'une rivière était surtout nécessaire quand il s'agissait de la navigation. En effet, la navigation d'une rivière dépend de sa pente et de la profondeur de ses eaux. C'est le profil en long qui fait connaître si la pente est telle que la navigation l'exige, ou si dans certains endroits elle est trop forte, et s'il faut en conséquence la racheter par des écluses dont le nombre et la hauteur des chutes sont alors faciles à déterminer.

On a pareillement observé que les profils en travers du lit d'une rivière étaient surtout nécessaires lorsqu'il s'agissait de la construction d'un pont ou de la navigation. En effet, dans la construction d'un pont, c'est d'après le profil et la ligne des plus hautes eaux qu'on détermine le nombre, la

largeur et la montée des arches nécessaires pour fournir le passage convenable à la rivière prise dans le temps des plus fortes crues. En sondant ensuite le fond, on s'assurera si les ouvrages pourront être établis sur le rocher ou s'il faudra piloter.

Pour la navigation, il faut non-seulement une certaine profondeur d'eau, mais encore un lit d'une largeur convenable. Or, tout cela ne peut se constater que par les profils en travers.

Ces profils sont encore nécessaires lorsqu'il s'agit de réduire le lit d'une rivière qui a trop de largeur.

CHAPITRE VII.

De la manière de dresser les tables de Nivellement.

De la table de Nivellement pour un canal d'irrigation.

(140.) On a vu que la route d'un canal doit être marquée par des repères en pierre portant chacun leur numéro ; et que l'on doit se rapporter aux termes de vérification qui se trouvent à portée, et dont on a fait usage pour constater la possibilité du projet. Ce sont ces divers points qui entreront dans la table de Nivellement, et auxquels il faudra le rapporter comme à des objets fixes de comparaison, lorsqu'il sera question d'exécuter le canal et d'établir son plat-fond, à la profondeur convenable. Les termes de vérification sont surtout essentiellement nécessaires, parce qu'étant immobiles, ils ne peuvent pas être dérangés ; au lieu que dans les repères d'art, on ne peut pas compter sur la même stabilité.

Ce n'est pas assez de rapporter le plat-fond du canal à des repères, soit artificiels, soit naturels ; il faut encore que ces repères soient eux-mêmes rapportés à un axe horizontal, passant par un point fixe et immuable, et dont la position soit connue. Ce point est arbitraire, et peut être pris au commencement ou à la fin du projet. Cependant, comme on est toujours censé mieux connaître l'endroit où l'on doit faire aboutir les eaux que celui où on

les dérive, il paraît plus convenable de choisir le point dont il s'agit vers la fin du projet. C'est ainsi qu'a opéré M. Peronnet dans son projet de canal de l'Yvette.

Un élément essentiel à faire entrer dans la table de Nivellement, est la distance d'un repère à l'autre : car la position des repères par rapport à l'axe de comparaison et au plat-fond du canal, donnera la pente de ce plat-fond entre deux repères quelconques. Mais à parler rigoureusement, cette pente n'est point absolue ; elle est seulement relative à la distance.

Ces trois élémens sont les seuls que M. Peronnet ait fait entrer dans la table relative au canal de l'Yvette, à la rigueur ils suffisent, puisque par le moyen d'une soustraction l'on peut connaître la pente du plat-fond d'un repère à l'autre. Cependant, comme le premier avantage d'une pareille table, doit être de présenter tous les résultats au premier coup d'œil, sans qu'il soit besoin d'aucune opération supplémentaire, on pense qu'il est à propos d'y mentionner de plus la pente partielle du canal entre deux repères consécutifs quelconques.

D'après le même principe, la distance de chaque repère au commencement du canal, et la pente totale du plat-fond jusqu'à ce même repère, devront aussi être désignées à la table dont il s'agit : cette distance et cette pente se composent, l'une de la somme de toutes les distances partielles de repère à repère, l'autre de toutes les pentes partielles antérieures. Il ne s'agit donc que d'une addition pour soulager l'esprit et donner au premier abord des éclaircissemens qui ont toujours leur utilité.

Il peut arriver que l'exécution d'un projet de canal ait été ajournée, et que, soit par le laps du

temps et le tassement des terres, soit par le fait de la main de l'homme, les repères en pierre qu'on aura placés soient dérangés, ou même enlevés en partie. On trouvera aisément les hauteurs respectives de deux repères consécutifs, puisqu'il ne faudra qu'une simple soustraction.

Il résulte de tout ce qui vient d'être dit, que la table de Nivellement d'un canal d'irrigation doit être composée de huit colonnes, ayant les destinations suivantes :

La première contiendra le n°. de tous les repères placés sur l'axe du canal, et en même temps les termes de vérification de départ et d'arrivée. Ces derniers ne portant point de n°., il convient de les marquer par un renvoi dont la position sera désignée dans la colonne des observations.

La seconde colonne indiquera la distance d'un repère quelconque à celui qui le précède, et lorsqu'il s'agira d'un terme de vérification, il faudra marquer la distance du point correspondant au repère précédent.

La troisième colonne sera remplie par des nombres qui représenteront la longueur parcourue, c'est-à-dire, la distance totale d'un repère ou du point correspondant d'un terme de vérification au premier repère, où se trouve le commencement du canal.

La hauteur de chaque repère ou terme de vérification, rapportée à l'axe de comparaison, figurera dans la quatrième colonne.

La cinquième désignera la pente du plat-fond du canal entre deux repères consécutifs, ou entre un repère et le point correspondant au terme de vérification le plus voisin.

La sixième colonne exprimera la pente totale du

plat-fond du canal depuis le repère 1er. jusqu'à un repère ou un point correspondant à un terme de vérification quelconque.

La septième colonne fera connaître la hauteur de chaque repère ou de chaque terme de vérification par rapport au point correspondant du plat-fond du canal.

Enfin la huitième colonne sera destinée aux observations que ces sortes d'opérations nécessitent ordinairement.

N°. I. TABLE DU NIVELLEMENT

NUMÉRO des repères et marque des termes de vérification.	DISTANCE d'un repère ou d'un terme de vérification à celui qui le précède.	DISTANCE totale jusqu'au repère 1.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au-dessus ou au-dessous de l'horizontale tirée par le terme A.	PENTE du plat-fond du canal entre un repère ou terme de vérification et celui qui le précède.
	m	m	m	m
1	0	0	11, 535	0, 000
+ (B)	34	34	11, 461	0, 262
2	76	110	9, 438	0, 585
3	101	211	8, 769	0, 777
4	118	329	7, 767	0, 908
5	98	427	7, 215	0, 753
6	139	566	4, 401	0, 463
+ (C)	55	621	4, 602	0, 183
7	78	699	6, 503	0, 261
8	107	806	5, 548	0, 713
9	110	916	4, 559	0, 733
10	102	1018	4, 055	0, 681
+ (A)	42	1060	0, 000	1, 800

D'UN CANAL D'IRRIGATION.

PENTE totale du plat-fond du canal depuis le repère 1.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification, au-dessus et au-dessous du plat-fond du canal.	*OBSERVATIONS.*
m 0, 000	m 2, 600	
0, 262	2, 788	La + B est taillée sur un rocher situé, etc.
0, 847	1, 350	
1, 624	1, 458	
2, 532	1, 364	
3, 285	1, 565	
3, 748	−0, 786	
3, 931	−0, 402	La + C est taillée sur le seuil de la porte de la maison de, etc.
4, 192	1, 760	
4, 905	1, 518	
5, 638	1, 262	
6, 319	1, 439	
8, 119	−0, 816	La + A est taillée sur un rocher situé, etc.

Moyen de remplir les colonnes de la table d'un canal d'arrosage.

(141.) Soit dressé le profil du terrain suivant l'axe du canal d'arrosage, dont la prise d'eau est fixée à un point connu, en rapportant d'abord les hauteurs de mire au droit des repères, et des termes de vérification, ainsi qu'au changement de station; et négligeant celle des points intermédiaires et de détail. Si l'on trace ensuite l'horizontale servant d'axe des abscisses et de ligne de comparaison, on pourra écrire le long de sa direction les distances des ordonnées qui passent par les divers repères et les termes de vérification; au-dessous on lui menera une parallèle où seront exprimées les distances totales des diverses ordonnées à la première. Cela fait, supposons que la pente du plat-fond doive être, savoir : de la 130me. partie de la longueur horizontale sur la portion comprise entre les repères n°. 1 et n°. 5. De la 300e. partie de la même longueur horizontale comprise entre les repères 5 et 7; de la 150e. partie de cette longueur entre les repères 7 et 10; et enfin de 1,m 8 sur la partie comprise entre le repère 10 et la dernière ordonnée.

Cela posé dans la première colonne d'une table pareille à la précédente, on inscrira le numéro de chaque repère, et on désignera les termes de vérification.

Dans la seconde colonne, et au droit de chaque repère et de chaque terme de vérification, on écrira la distance de ce repère ou de ce terme à celui qui le précède; la distance de ce nième terme, ou repère, au premier repère sera inscrite sur la troisième colonne.

On déterminera ensuite la hauteur de chaque terme et de chaque repère, par rapport à l'axe, et on mentionnera les résultats dans la quatrième colonne au droit du terme ou repère respectif.

En divisant convenablement par 130, par 300, ou par 150, chaque intervalle compris entre les ordonnées, on obtiendra des quotiens qui seront les diverses pentes existant entre les repères successifs; on les écrira au droit de leur repère ou terme correspondant, dans la cinquième colonne.

Au droit de ces mêmes repères, et dans la sixième colonne, on portera la pente totale depuis le premier repère.

Supposant que la hauteur du premier repère au-dessus du plat-fond du canal, soit de 2,^{m}600, on trouvera facilement la hauteur de chaque repère au-dessus ou au-dessous du plat-fond, et on l'inscrira dans la septième colonne, au droit du repère ou terme y relatif.

Enfin dans la colonne des observations, on désignera les termes de vérification, et l'on fera toutes les remarques que les circonstances exigeront.

La septième colonne fera connaître s'il y a des hauteurs négatives, désignées par le signe — qui les précède. Sur cela, on devra observer que la ligne du plat-fond du canal est considérée comme la limite entre le positif et le négatif des ordonnées qui s'y rapportent; que toutes les ordonnées ou hauteurs qui tombent au-dessus de cette ligne sont regardées comme positives, et que celles qui tombent au-dessous sont réputées négatives. Ainsi, dans cette colonne toutes les quantités qui ne portent point de signe étant censées positives, indiquent des hauteurs au-dessus du plat-fond, et celles qui sont affectées du signe négatif — désignent des

hauteurs au-dessous de ce même plat-fond, ou des points du terrain auxquels il est supérieur.

Si, au lieu de tirer l'axe des abscisses par le point de départ, on l'eût tiré par tout autre point, une partie du profil aurait été supérieure et l'autre partie inférieure à cet axe. Dans ce cas, parmi les ordonnées qui expriment les hauteurs des divers repères ou termes de vérification, et qui sont portées sur la quatrième colonne, les unes auraient été au-dessus et les autres au-dessous. D'après ce qui vient d'être dit, il aurait fallu regarder les premières comme positives, les secondes comme négatives, et par cette raison affecter ces dernières du signe —.

Il y a néanmoins des cas qui exigent que l'on classe les quantités positives dans une colonne et les quantités négatives dans une autre. Ce soin doit être pris particulièrement lorsqu'il s'agit de hauteurs ascendantes et descendantes, et qu'à chaque repère on veut connaître la différence entre les sommes des unes et des autres. Mais ce cas est étranger aux canaux d'irrigation, et ne peut se rapporter qu'à ceux de navigation dont il sera bientôt parlé.

Pour vérifier la table dont il s'agit, l'on doit observer que l'élévation du premier repère au-dessus de l'axe des abscisses, passant par le dernier, laquelle est de 11,^{m}535, quatrième colonne, se compose de la somme de la pente totale du canal, et des deux distances verticales du premier et du dernier repère, à son plat-fond; ces trois quantités fournies par les sixième et septième colonnes sont 8,^{m}119, 2,^{m}600, et 0,^{m}816 dont la somme est effectivement 11,^{m}535.

De la table de Nivellement pour un canal de navigation.

(142.) Dans les canaux d'irrigation, le plat-fond a nécessairement une certaine pente, au lieu que dans les canaux de navigation cette pente est nulle. D'autre part, il ne peut y avoir de contre-pentes aux premiers, tandis que les autres en ont souvent, par suite des hauteurs à franchir. Ainsi la forme de la table de Nivellement d'un canal de navigation, s'écartera jusqu'à un certain point de celle de la table d'un canal d'irrigation.

L'axe horizontal est toujours la ligne de comparaison des divers points de remarque, tant sur le profil que sur le plat-fond du canal.

On construira donc le profil du terrain suivant l'axe du canal de navigation, on y désignera des points entrée et de sortie, ainsi que ses plat-fonds. La ligne de niveau devra passer par le point le plus bas du canal; on la prendra pour ligne ou axe de comparaison. Sa position sera d'ailleurs connue par le terme de vérification qui se trouvera aux environs. On supposera ce terme supérieur à l'axe dont il s'agit de $4,^{m}100$.

S'il se rencontre une butte à franchir, on sait qu'elle ne peut l'être que par le moyen d'écluses, et d'une retenue qu'alimenteront des eaux supérieures. On sait de plus que la hauteur des chutes des écluses dépend de la pente de la butte. Nous supposerons celle-ci telle que la chute entre deux repères successifs soit la même et de $1,^{m}800$. Il est à propos que la table de Nivellement fasse connaître le nombre et la hauteur de ces chutes, et quelles sont les ascendantes et les descendantes.

En conséquence, un repère sera indiqué au haut et au bas de chaque chute.

Indépendamment de ces objets, la table doit désigner, comme celle d'un canal d'irrigation, non-seulement le numéro ou le caractère des repères ou des termes de vérification, mais encore la distance d'un repère quelconque, tant au précédent qu'à celui de l'entrée du canal, pour que l'on puisse à chaque instant connaître la longueur parcourue.

Etablie d'après ces observations, la table suivante de Nivellement d'un canal de navigation contient onze colonnes, dont les quatre premières et la dernière ont le même objet que dans la table précédente, du Nivellement d'un canal d'irrigation. Quant aux autres, elles sont distribuées ainsi qu'il suit, savoir :

La cinquième indique la hauteur du plat-fond au-dessus de l'axe.

La sixième désigne la hauteur de chaque repère ou terme de vérification au-dessus et au-dessous du plat-fond du canal.

La septième comprend les hauteurs ascendantes du plat-fond entre un repère quelconque et celui qui le précède; hauteur à franchir par des écluses.

La huitième représente la somme de ces hauteurs depuis le bas de la première chute.

La neuvième indique les hauteurs descendantes du plat-fond entre un repère quelconque et celui qui le précède; hauteurs à franchir encore par des écluses.

La dixième colonne renferme les sommes successives de ces hauteurs, depuis le plat-fond de la retenue.

Les deux premières colonnes de cette table ne sont, comme on voit, que l'exposé des numéros

ou marques des repères des termes de vérification et de leurs distances respectives.

La troisième colonne est produite par l'addition de toutes les distances qui précèdent.

La cinquième se formera en ajoutant progressivement les diverses hauteurs montantes et descendantes qui sont censées connues. On parviendra ainsi au plat-fond de la retenue dont on connaîtra la hauteur; et si de cette hauteur on retranche successivement les diverses hauteurs descendantes, on arrivera au nouveau plat-fond situé au bas de la butte.

En retranchant chaque nombre de la cinquième colonne de son correspondant à la quatrième, on obtiendra les divers résultats de la sixième, qui ne sont que les restes de ces soustractions.

La septième et la neuvième colonnes contiennent, comme l'on voit, les hauteurs ascendantes et descendantes à franchir par des écluses et qui sont données. Ces hauteurs auraient pu être déduites de la cinquième colonne, en retranchant dans celle-ci chaque résultat du suivant jusqu'au repère 10, et du précédent depuis le repère 12 jusqu'au repère 16. Mais il paraît préférable de les distribuer en deux colonnes différentes, pour mieux distinguer les endroits où l'on doit établir les écluses, et les hauteurs à racheter.

Quant aux huitième et dixième colonnes, elles se composent par l'addition progressive des résultats de la septième et de la neuvième, et servent à faire connaître la totalité des chutes, à quelque hauteur qu'on s'arrête.

Il n'est pas besoin de faire observer que les colonnes cinq et six, étant formées d'après la quatrième, leur exactitude est subordonnée à celle de cette dernière.

N°. II. TABLE DE NIVELLEMENT

NUMÉRO des repères et marque des termes de vérification.	DISTANCE d'un repère ou d'un terme de vérification à celui qui le précède.	DISTANCE totale jusqu'au repère 1.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au-dessus de la ligne de niveau tirée par le point D.	HAUTEUR du plat-fond au-dessus de l'axe.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au-dessus ou au-dessous du plat-fond du canal.
	m	m	m	m	m
1	0	0	3, 091	0, 000	3, 091
+ (A)	44	44	4, 100	0, 000	4, 100
2	36	80	1, 901	0, 000	1, 901
3	102	182	1, 803	0, 000	1, 803
4	78	260	1, 693	0, 000	1, 693
5	30	290	2, 896	1, 800	1, 096
6	30	320	4, 399	3, 600	0, 799
7	30	350	6, 597	5, 400	1, 197
8	30	380	8, 299	7, 200	1, 099
9	30	410	10, 389	9, 000	1, 389
10	30	440	12, 220	10, 800	1, 420
11	61	501	13, 516	10, 800	2, 716
12	57	558	12, 622	10, 800	1, 822
13	30	588	11, 412	9, 000	2, 412
14	30	618	8, 420	7, 200	1, 220
15	30	648	7, 073	5, 400	1, 673
16	30	678	4, 640	3, 600	1, 040
+ (B)	49	727	4, 246	3, 600	0, 646
17	31	758	1, 773	3, 600	—1, 827
18	115	873	4, 703	3, 600	1, 103
19	117	990	5, 350	3, 600	1, 750
20	123	1113	5, 190	3, 600	1, 590
+ (C)	33	1146	6, 053	3, 600	2, 453

D'UN CANAL DE NAVIGATION.

HAUTEURS ascendantes du plat-fond entre un repère et celui qui le précède; et à racheter par des écluses.	SOMME des hauteurs ascendantes du plat-fond depuis le bas de la première chute.	HAUTEURS descendantes du plat-fond entre un repere et celui qui le précède; et à racheter par des écluses.	SOMME des hauteurs descendantes du plat-fond depuis la retenue.	*OBSERVATIONS.*
m	m	m	m	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	La + A est située, etc.
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	
1, 800	1, 800	0, 000	0, 000	
1, 800	3, 600	0, 000	0, 000	
1, 800	5, 400	0, 000	0, 000	
1, 800	7, 200	0, 000	0, 000	
1, 800	9, 000	0, 000	0, 000	
1, 800	10, 800	0, 000	0, 000	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	
0, 000	0, 000	1, 800	1, 800	
0, 000	0, 000	1, 800	3, 600	
0, 000	0, 000	1, 800	5, 400	
0, 000	0, 000	1, 800	7, 200	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	La + B est taillée sur, etc.
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	La + C est située, etc.

De la table de Nivellement pour un canal d'irrigation et de navigation.

(143.) Dans un canal destiné tout ensemble à l'irrigation et à la navigation, la partie où il ne doit pas y avoir d'écluse, forme un plan continu et d'une pente uniforme. Cette pente dans le cas de la navigation, doit être d'environ la 5000e. partie de la longueur horizontale. Quant aux écluses, toutes doivent essentiellement être descendantes. D'après cela, il est visible que la table de Nivellement d'un pareil canal sera, à très-peu de chose près, la même que pour un canal d'irrigation. La seule différence qu'il y aura, c'est que les chutes à racheter par des écluses seront désignées par un astérique.

Admettons que l'on ait construit le profil longitudinal d'une portion d'un pareil canal, dont la prise d'eau est à un point donné, et sur lequel on trouve deux pentes à racheter, chacune par quelques écluses.

Supposons encore 1°. qu'au 1er. repère la profondeur d'excavation soit de 2,^{m}400; 2°. que la hauteur des chutes des écluses de la première pente à racheter soit de 2,^{m}; 3°. que celle des chutes des écluses de la seconde soit de 2,^{m}500; 4°. que sur le reste du canal la pente soit égale à la 5000e. partie de la longueur horizontale; 5°. enfin que l'axe

de comparaison soit placé à 5,m mesurés de bas en haut, du terme de vérification. D'après ces données on dressera la table de Nivellement suivante, pour la construction et vérification de laquelle il ne reste plus aucune difficulté.

N°. III. TABLE DU NIVELLEMENT D'UN CANAL

NUMÉRO des repères et marque des termes de vérification.	DISTANCE d'un repère ou d'un terme de vérification à celui qui le précède.	DISTANCE totale jusqu'au repère 1.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au-dessus de l'horizontale.
	m	m	m
1	0	0	22, 304
+ (A)	36	36	21, 159
2	86	122	21, 807
3	95	217	21, 800
4	108	325	22, 353
5	77	402	21, 569
6	83	485	21, 670
7	30	515	20, 829
8	30	545	18, 394
9	30	575	16, 109
10	30	605	14, 285
11	45	650	12, 329
+ (C)	82	732	11, 923
12	73	805	11, 714
13	30	835	10, 913
14	30	865	8, 221
15	45	910	4, 810
16	71	981	4, 111
17	92	1073	4, 007
+ (B)	34	1107	5, 000

D'IRRIGATION ET DE NAVIGATION.

PENTE ET CHUTE du plat-fond du canal entre un repère ou terme de vérification et celui qui le précède.	PENTE totale du plat-fond du canal depuis le repère 1.	HAUTEUR de chaque repère ou terme de vérification au-dessus du plat-fond du canal.	*OBSERVATIONS.*
m	m	m	
0, 0000	0, 0000	2, 4000	
0, 0072	0, 0072	1, 2622	La + A est taillée sur, etc.
0, 0172	0, 0244	1, 9274	
0, 0190	0, 0434	1, 9394	
0, 0216	0, 0650	2, 5140	
0, 0154	0, 0804	1, 7454	
0, 0166	0, 0970	1, 8630	
* 2, 0000	2, 0970	3, 0220	
* 2, 0000	4, 0970	2, 5870	
* 2, 0000	6, 0970	2, 3020	
* 2, 0000	8, 0970	2, 4780	
* 2, 0000	10, 0970	2, 5220	
0, 0164	10, 1134	2, 1324	La + C est située, etc.
0, 0146	10, 1280	1, 9380	
* 2, 5000	12, 6280	3, 6370	
* 2, 5000	15, 1280	3, 4450	
* 2, 5000	17, 6280	2, 5340	
0, 0142	17, 6422	1, 8492	
0, 0184	17, 6606	1, 7636	
0, 0068	17, 6674	2, 7634	La + B est taillée sur, etc.

De la table de Nivellement pour un aquéduc.

(144.) On a dit que le Nivellement du tracé d'un aquéduc se rapportait à celui du tracé d'un canal d'irrigation. Par conséquent, lorsqu'il s'agira de dresser la table de Nivellement, du premier de ces ouvrages, on se conformera en tout à celle qui a été donnée pour le second sous le numéro 1.

De la table de Nivellement pour une route à construire.

(145.) Le tracé d'une route à construire à neuf exige des repères et des termes invariables de vérification, auxquels puissent être rapportées, lors de la construction, les lignes de pente de l'axe de la route, la hauteur des remblais, et la profondeur des déblais; la table du Nivellement de ce tracé doit donc exprimer la position respective, soit verticale, soit horizontale, de ces repères et points de vérification, les diverses montées et descentes, et les hauteurs, tant des remblais que des déblais, comparativement à ces points et repères.

Il résulte de ces considérations, que la table dont il s'agit peut être dressée conformément à la suivante; celle-ci est, comme l'on voit, composée de neuf colonnes, dont les quatre premières et la dernière sont les mêmes que dans les tables qui ont précédé.

La cinquième colonne affectée aux parties ascendantes en avançant dans le sens du tracé, se partage en deux, dont la première exprime les montées partielles d'un repère à l'autre, et la seconde les montées totales à chaque repère.

La sixième colonne, consacrée aux parties descendantes, est également divisée en deux sections indiquant, l'une les descentes particulières de repère à repère, l'autre la totalité de ces mêmes descentes.

La septième colonne fait connaître les hauteurs des remblais, et la huitième, les profondeurs des déblais, comparativement à la position de chaque repère ou terme de vérification.

N°. IV. TABLE DE NIVELLEMENT D'UNE

N°	DISTANCE	DISTANCE	HAUTEUR	PARTIES ASCENDANTES.		
des repères et marque des termes de vérification.	d'un repère ou d'un terme de vérification à celui qui le précède.	totale jusqu'au repère de départ.	de chaque repère ou terme de vérification au-dessus de l'horizontale de celui de départ.		Montée suivant l'axe de la route à chaque repère ou terme de vérification depuis celui qui le précède.	Total des montées de chaque partie ascendante.
	m	m	m		m	m
1 + (C)	0	0	0, 000		0, 000	0, 000
2	100	100	1, 996	1re PARTIE.	1, 666	1, 666
3	88	188	4, 943		1, 760	3, 426
4	80	268	6, 352		2, 000	5, 426
5	90	358	9, 951		3, 000	8, 426
6	70	428	14, 550		3, 500	11, 926
7	85	513	11, 447		0, 000	0, 000
8	82	595	8, 317		0, 000	0, 000
9	78	673	3, 019		0, 000	0, 000
+ (A)	72	745	1, 761		0, 000	0, 000
10	81	826	6, 656	2e PARTIE.	1, 620	1, 620
11	89	915	8, 958		1, 483	3, 103
12	75	990	5, 451		0, 000	0, 000
13	69	1059	4, 511		0, 000	0, 000
+ (B)	80	1139	4, 541		0, 000	0, 000

ROUTE A CONSTRUIRE A NEUF.

	PARTIES DESCENDANTES. Descente suivant l'axe de la route à chaque repère ou terme de vérification depuis celui qui le précède.	PARTIES DESCENDANTES. Total des descentes de chaque partie descendante.	HAUTEUR des remblais à chaque repère ou terme de vérification.	PROFONDEUR des déblais à chaque repère ou terme de vérification.	OBSERVATIONS
	m	m	m	m	
	0, 000	0, 000	1, 000	0, 000	La + C est taillée sur, etc.
	0, 000	0, 000	0, 670	0, 000	La 1re remontée commence au quartier de . . . et finit. . .
	0, 000	0, 000	0, 000	0, 517	
	0, 000	0, 000	0, 074	0, 000	
	0, 000	0, 000	0, 000	0, 525	
	0, 000	0, 000	0, 000	1, 624	
1re PARTIE.	2, 125	2, 125	0, 000	0, 646	La 1re descente commence, etc.
1re PARTIE.	2, 733	4, 858	0, 000	0, 249	
1re PARTIE.	3, 900	8, 758	1, 149	0, 000	
	0, 000	0, 000	2, 407	0, 000	La + A est située, etc.
	0, 000	0, 000	0, 000	0, 868	La 2e montée commence, etc.
	0, 000	0, 000	0, 000	1, 687	
2e PARTIE.	1, 071	1, 071	0, 748	0, 000	La 2e descente commence, etc.
2e PARTIE.	1, 150	2, 221	0, 538	0, 000	
2e PARTIE.	1, 143	3, 364	0, 000	0, 634	La + B est taillée sur, etc.

Observations sur la table précédente.

(146.) Cette table qui exprime le profil en long d'une portion de route à construire à neuf, est supposée faite en partant de l'origine. L'horizontale menée par ce point est la directrice à laquelle on a rapporté la position verticale de chaque repère et de chaque terme de vérification. La formation des quatre premières colonnes ne présentant nulle difficulté, n'exige par conséquent aucune explication.

La cinquième et la sixième, qui contiennent les montées et les descentes, dépendent des règles relatives à la construction des routes, et en partie aussi des localités ; car on sait que les pentes et les contre-pentes, sont soumises à un *maximum*. Ainsi la formation de ces colonnes est arbitraire jusqu'à un certain point.

On a formé les septième et huitième colonnes, en supposant la pente négative dans les parties ascendantes, et positive dans les parties descendantes.

La vérification d'une pareille table se fait de la manière suivante :

L'excès de la somme des montées sur celle des

descentes, indique, dans le cas actuel, que le point de départ de l'aire de la route, est plus bas que l'autre extrémité de $2,^{m}907$. Et puisque, d'après la septième colonne, le même point de départ est plus haut de $1,^{m}$ que la directrice, il s'ensuit que le point final est supérieur à cette dernière de $3,^{m}907$.

Or la quatrième colonne montre que le repère B est à $4,^{m}541$ au-dessus de l'horizontale du point de départ, et comme on voit à la huitième colonne que ce même repère est plus haut de $0,^{m}634$ que le point final, en retranchant cette quantité de $4,^{m}541$, on aura encore $3,^{m}907$ pour la hauteur du point final de la route au-dessus de la directrice.

Les deux manières précédentes d'arriver à la valeur de l'ordonnée finale, fournissant le même résultat, on doit en conclure qu'il n'y a point d'erreur dans les divers élémens inscrits au tableau.

De la table de Nivellement pour une route en exercice.

(147.) La manière de dresser la table de Nivellement pour une route construite et en exercice, est, à très-peu de chose près, la même que pour

une route à construire. Avec les seules différences, qu'ici les repères, au lieu d'être placés sur l'axe, se trouvent sur les bords, ou même hors de la route; et qu'il n'y a point de hauteur de remblais ni de profondeur de déblais : l'une et l'autre de ces deux quantités sont respectivement représentées par la hauteur de chaque repère, au-dessus ou au-dessous du point correspondant de l'axe du chemin.

La formation des quatre premières colonnes de cette table est absolument la même que pour celle qui précède.

Les nombres qui entrent dans les deux colonnes partielles formant la cinquième, sont censés donnés par le Nivellement au droit de chaque repère.

Quant à ceux qui entrent dans les sixième et septième colonnes, ils sont calculés en supposant la pente négative pour les parties ascendantes, et positive pour les parties descendantes.

La vérification de cette table est fondée sur le même principe, et se fait de la même manière que celle de la table précédente. On prend la somme des hauteurs ascendantes, et on l'augmente de la hauteur de la route au-dessus du repère n°. 1; on

prend pareillement la somme des hauteurs descendantes, et l'on y ajoute celle de la route au-dessous du repère n°. 13, diminuée de l'abaissement de ce repère au-dessous de la directrice. Si la table est exacte, on doit trouver deux résultats égaux.

Il est à propos d'observer ici que dans ces routes, la pente est rarement constante et uniforme, d'un repère à l'autre. En ce cas, une table de Nivellement ne peut point exprimer toutes les variations, mais on les trouve dans le profil longitudinal. Il suffit que la table fasse connaître les pentes par intervalles, pris sur des espaces où elles n'éprouvent pas de trop grandes différences.

N°. V. TABLE DE NIVELLEMENT D'UNE

N° des repères.	DISTANCE sur la route du droit d'un repère au droit du repère précédent.	DISTANCE totale de la route du droit d'un repère au droit du repère n° 1.	HAUTEUR de chaque repère au-dessus ou au-dessous de la ligne horizontale.	HAUTEUR DE CHAQUE REPÈRE. au-dessus du point de milieu correspondant de la route.	au-dessous du point de milieu correspondant de la route.
	m	m	m	m	m
1,	0,	0,	0, 000	0, 000	1, 612
2,	96,	96,	4, 289	0, 722	0, 000
3,	93,	189,	7, 450	0, 604	0, 000
4,	102,	291,	11, 436	0, 742	0, 000
5,	94,	385,	12, 633	0, 000	0, 791
6,	98,	483,	12, 249	0, 693	0, 000
7,	101,	584,	5, 092	0, 000	1, 212
8,	100,	684,	1, 890	0, 613	0, 000
9,	87,	771,	1, 885	0, 732	0, 000
10,	83,	854,	4, 124	0, 607	0, 000
11,	88,	942,	7, 550	2, 396	0, 000
12,	71,	1013,	3, 634	0, 627	0, 000
13,	96,	1109,	—1, 419	0, 000	1, 991

ROUTE CONSTRUITE ET EN EXERCICE.

PARTIES ASCENDANTES.		PARTIES DESCENDANTES.		
Montée suivant l'axe de la route au droit de chaque repère, depuis le point au droit du repère qui précède.	TOTAL des montées de chaque partie ascendante.	Descente suivant l'axe de la route au droit de chaque repère, depuis le point au droit du repère qui précède.	TOTAL des descentes de chaque partie descendante.	*OBSERVATIONS.*
m	m	m	m	
0, 000	0, 000	0, 000	0, 000	Le repère 1 est situé a, etc.
1re PARTIE. 1, 955	1, 995	0, 000	0, 000	Le repère 2 est situé, etc.
3, 279	5, 234	0, 000	0, 000	Le repère 3 est situé, etc.
3, 848	9, 082	0, 000	0, 000	Le repère 4 est situé, etc.
2, 730	11, 281	0, 010	0, 000	Le repère 5 est situé, etc.
0, 000	0, 000	1re PARTIE. 1, 868	1, 868	Le repère 6 est situé, etc.
0, 000	0, 000	5, 252	7, 120	Le repère 7 est situé, etc.
0, 000	0, 000	5, 027	12, 147	Le repère 8 est situé, etc.
0, 000	0, 000	0, 124	12, 271	Le repère 9 est situé, etc.
2, 364	2, 364	0, 000	0, 000	Le repère 10 est situé, etc.
1, 637	4, 001	0, 000	0, 000	Le repère 11 est situé, etc.
0, 000	0, 000	2e PARTIE. 2, 147	2, 147	Le repère 12 est situé, etc.
0, 000	0, 000	2, 435	4, 582	Le repère 13 est situé, etc.

Manière de dresser la table de Nivellement pour une rivière.

(148.) Outre les trois premières colonnes qui doivent, ainsi que la dernière, être les mêmes que dans les tables précédentes, il paraît à propos d'en placer trois autres dans les tables de Nivellement pour une rivière.

De ces nouvelles colonnes, la première en comprendra deux partielles, qui feront respectivement connaître la hauteur de chaque repère au-dessus de la directrice, et de la surface du courant pris vis-à-vis.

La seconde exprimera la profondeur des eaux au droit de chaque repère.

La troisième sera encore composée de deux colonnes partielles, dont l'une contiendra les pentes du courant entre deux repères consécutifs, et l'autre la pente totale du même courant depuis le premier repère.

(149.) En jetant les yeux sur la table suivante, on verra qu'elle a été dressée d'après ces principes. L'axe y a été arbitrairement supposé 15,^{m}446 au-dessous du repère immuable C.

La hauteur de chaque repère au-dessus de la surface de l'eau est immédiatement donnée par le Nivellement.

La vérification de cette table se réduit à celle de

la hauteur du dernier repère, et à celle de la pente totale au droit du même repère. Si les résultats sont les mêmes que ceux qu'on aura obtenus par les opérations de détail, la table n'est point fautive.

N°. VI. TABLE DE NIVELLEMENT

NUMÉRO des repères.	DISTANCE sur le cours de la rivière du droit d'un repère au droit du repère précédent.	DISTANCE totale du droit d'un repère au droit du repère 1.	HAUTEUR DE CHAQUE REPÈRE au-dessus de l'axe horizontal.	au-dessus de la surface de l'eau au droit de ce repère.
	m	m	m	m
1 + (C)	0	0	15, 446	6, 000
2	97	97	15, 056	6, 091
3	112	209	15, 462	7, 103
4 + (D)	133	342	13, 574	5, 593
5	98	440	14, 713	6, 694
6	97	537	14, 859	7, 103
7	104	641	14, 053	6, 492
8 + (E)	102	743	14, 162	6, 694
9	97	840	14, 403	6, 998
10	102	942	13, 793	6, 563
11	82	1024	14, 112	6, 898
12 + (F)	85	1109	13, 507	6, 396

D'UNE RIVIÈRE.

PROFONDEUR des eaux du courant au droit de chaque repère.	PENTE DE LA SURFACE des eaux au droit de chaque repère.		OBSERVATIONS.
	Depuis le repère précédent.	Depuis le repère nº. 1.	
m	m	m	
1, 610	0, 000	0, 000	La + C est taillée sur, etc.
1, 750	0, 501	0, 501	
1, 910	0, 606	1, 107	
2, 000	0, 378	1, 485	
2, 190	0, 795	2, 280	
2, 190	0, 263	2, 543	La + D est située, etc.
2, 190	0, 195	2, 738	
2, 200	0, 093	2, 831	La + E est placée, etc.
2, 550	0, 063	2, 894	
2, 360	0, 175	3, 069	
2, 360	0, 016	3, 085	
2, 490	0, 103	3, 188	La + F est taillée sur, etc.

Observation.

(150.) On pourrait donner beaucoup plus de latitude à chacune de ces tables, et y faire entrer divers objets relatifs au projet qui donne lieu de les dresser. Par exemple, dans la table concernant un canal à construire, on pourrait classer les angles de déviation à droite ou à gauche, le nombre de leurs degrés, les lieux où l'on a sondé, la profondeur des déblais et la hauteur des remblais, la quantité des uns et des autres, etc.

Tous ces détails, superflus quand il ne s'agit que d'un Nivellement, trouveront leur place ailleurs; ce qui a été dit à ce sujet doit suffire pour le moment.

CHAPITRE VIII.

Considérations particulières sur les moyens de rendre utiles les profils des canaux et aquéducs, des routes et des rivières.

Observations préliminaires.

(151.) Les diverses parties dont l'assemblage est destiné à former un tout, doivent être proportionnées les unes aux autres, et construites par conséquent d'après le même modèle. Les profils dressés dans chaque département sont destinés à offrir, par leur réunion, l'ensemble des routes, canaux et rivières de la France, il importe donc que ces profils soient partout dressés suivant les mêmes principes.

La première question qui se présente à ce sujet, est de savoir si l'on doit faire usage de la même échelle pour les profils en long et pour ceux en travers, ou si celle des premiers doit être moindre que celle des derniers. On voit, par ce qui a été dit précédemment, qu'il est toujours préférable d'employer la même échelle ou unité, pour les uns et pour les autres.

La seconde question est relative à l'échelle qu'il convient d'adopter. On a dit qu'il serait à propos de représenter chaque mètre de longueur naturelle par 4 millimètres, c'est-à-dire, par sa 250e. partie. Cette échelle donne, il est vrai, des profils un peu étendus; mais l'objection qui en résulte contre son usage et qui a déjà été combattue, tombera tout-à-fait si l'on réfléchit que dans cette hypothèse, chaque distance de cinq kilomètres ne produirait qu'un dessin de 20 mètres de longueur, ce qui n'est pas exorbitant.

Nous observerons, à la même occasion, que, dans les pays montueux, la trop grande hauteur des dessins peut être évitée par le moyen de coupures horizontales équidistantes, sans que l'exactitude des profils en souffre aucune altération.

Un objet bien essentiel à indiquer dans tous les profils des routes, canaux et rivières du royaume, serait la trace que laisserait dans leurs plans, le passage d'une même surface de niveau fixe : trace que l'on prendrait pour axe des abscisses. Jusqu'à présent, cette ligne a été arbitrairement prise dans chaque opération de ce genre, et il serait peut-être difficile de rencontrer deux profils où elle appartînt à la même surface de niveau. Or, si l'on voulait réunir un jour tous les profils de chaque département, et les accorder pour en former un ensemble, il est évident

qu'on ne pourrait établir entre eux de comparaison que par des calculs préalables, dont plusieurs seraient longs et compliqués, attendu l'éloignement des localités à comparer ; au lieu que l'axe des abscisses étant pris dans toutes les opérations, sur une même surface de niveau, chaque profil porte sa comparaison avec tous les autres, quelle que soit la distance des lieux y relatifs. Il serait donc nécessaire que le Gouvernement fixât une seule surface de niveau, ou horizontale, dont la position serait connue, et à laquelle se rapporteraient toutes les opérations de Nivellement à sa charge, dans chaque département.

Il ne s'agit plus que de déterminer quelle sera cette superficie horizontale, à laquelle toutes les ordonnées verticales devront aboutir et se rapporter; la plus légère attention fait voir que la nature l'offre dans la superficie des eaux de la mer qui sont nécessairement de niveau. La mer forme d'ailleurs la limite naturelle de la partie du globe que nous habitons. C'est donc, sous tous les rapports, sa superficie qu'il faut choisir de préférence pour l'objet dont il s'agit.

On objectera que les côtes de la France sont baignées à l'ouest par l'Océan, au sud et à l'est par la Méditerranée ; et l'on demandera s'il est indifférent de se rapporter à la superficie de l'une ou de l'autre de ces deux mers. Voici la réponse à cette question :

La superficie à laquelle toutes les ordonnées doivent se rapporter, doit être fixe et invariable. Or, l'Océan étant sujet à la marée, sa superficie varie continuellement. La Méditerranée qui n'a ni flux ni reflux, présente une surface plus stable, et

par conséquent c'est cette dernière mer qu'il faut prendre pour terme de comparaison.

Une autre objection pourra être faite sur le même sujet, savoir : que la marée se fait encore sentir sur la Méditerranée jusqu'à une certaine distance, à partir du détroit de Gibraltar. D'après cela, on demandera en quel endroit devrait être prise la superficie des eaux de cette mer. Le port de Toulon serait tout-à-fait convenable, attendu que la marée cesse d'y être aucunement sensible.

Mais, à Toulon même, dira-t-on, la superficie des eaux de la Méditerranée varie très-souvent, selon les vents qui règnent et selon les saisons. La réponse à cette dernière objection sera qu'il convient de prendre la superficie à l'époque où elle est parvenue au *maximum* de dépression ou au point le plus bas possible; ce qui a lieu pendant la canicule et par un temps calme.

Ce système, il est vrai, ne permettrait pas de dresser simultanément les divers profils dans tous les départemens; on ne pourrait le faire que par gradation, au fur et à mesure que les ingénieurs du département du Var, parvenus à ses confins, transmettraient le résultat de leurs opérations à ceux des départemens voisins. Les difficultés résultantes de cet état de choses disparaîtront si, dans chaque département, les Nivellemens sont rapportés à une seule surface horizontale passant par un point fixe et immuable, pris sur une grande route ou sur une rivière, à la limite de ce département. Ainsi, dans celui des Basses-Alpes, toutes les opérations pourraient se rapporter à la surface de niveau qui passerait par un point fixe, pris n'importe où, par exemple, au bahut du pont sur le Verdon, à Vinon. Les opérations de Toulon à Vinon feraient connaître

la hauteur de ce point au-dessus du niveau de la mer. Alors il serait aisé, dans la rédaction des opérations des Basses-Alpes, de rapporter les ordonnées à ce niveau.

En partant du niveau de la mer, il est à propos d'en constater la position par le moyen d'un repère inébranlable à prendre ou à établir sur le rivage. Ainsi, les opérations étant supposées commencer au port de Toulon, le niveau de la basse mer devra être rapporté à un point fixe situé sur le quai ou ailleurs, afin que les variations puissent être connues, si, par hasard, il en survient.

Quant aux opérations qui commenceront ou finiront aux bords de l'Océan, les variations continuelles de la superficie des eaux, produites par le flux et le reflux, exigent indispensablement qu'on s'y rapporte à des repères fixes et inébranlables. Outre qu'ils serviront au même objet que les précédens, on verra plus bas qu'ils auront une utilité particulière.

Les profils des routes, canaux et rivières dressés d'après ce système, donneront le moyen de comparer entre elles les parties les plus éloignées de la France, et d'en connaître les différences de niveau : il ne faudra plus que classer ces profils par ordre, les désigner par numéros, et en dresser un catalogue qui indique où ils se trouvent, à quelle route, rivière, etc. ils appartiennent, à quel département ils se rapportent, quelles sont leur limites, etc., etc. Toutes les parties de ce travail réunies au Dépôt des plans des Ponts et Chaussées, mettront le Gouvernement à portée d'avoir une connaissance exacte des routes, canaux et rivières, des ouvrages à y exécuter en construction à neuf ou en réparations,

des dépenses à y faire, des améliorations dont ils peuvent être susceptibles, etc.

Quoique très-avantageux, ce système est, il faut l'observer, insuffisant à certains égards, et susceptible d'acquérir une plus grande perfection. On sent, en effet, combien tous les détails seraient étendus, et combien il serait difficile d'en embrasser l'ensemble, et de faire les divers rapprochemens dont on peut avoir besoin dans une infinité de cas. C'est pourtant cet ensemble dont il faut faciliter la connaissance au Gouvernement. Il reste à examiner et à indiquer le moyen d'y parvenir.

On a dit qu'il était essentiel de rapporter, par intervalles, les opérations de Nivellement à des *repères de vérification*. Cette pratique a été recommandée pour toutes les opérations relatives aux profils, soit des canaux et aquéducs, soit des routes et des rivières, et les repères dont il s'agit ont été constamment employés dans les tables de Nivellement du dernier chapitre. S'ils sont placés d'une manière convenable et qu'on en dresse des tables méthodiques, il est visible que la réunion de ces tables en un seul corps d'ouvrage, offrira l'abrégé et l'analyse de tous les profils, et qu'alors on pourra faire avec la plus grande facilité, tous les rapprochemens et toutes les comparaisons que nécessiteront les circonstances.

Des repères et des tables de Nivellement des canaux et aquéducs.

(152.) On a distingué trois sortes de canaux, savoir : les canaux d'irrigation, ceux de navigation, et ceux d'irrigation et de navigation tout ensemble. Parmi les points à choisir pour repères de vérifica-

tion, il en est qui sont communs à ces trois espèces; mais il y en a aussi de particuliers pour chacune. D'ailleurs la manière d'en dresser des tables n'est pas exactement la même pour toutes. On va en conséquence les examiner successivement.

Des repères et des tables de Nivellement des canaux d'irrigation.

(153.) Dans les canaux d'irrigation, les repères pour être immuables, peuvent être placés aux endroits suivans, savoir :

1°. Sur les ouvrages d'art de l'écluse de la prise d'eau.

2°. Sur ceux des déversoirs, soit de fond, soit de superficie.

3°. Sur ceux des écluses à vanne des dérivations qui accompagnent toujours ces canaux.

4°. Aux édifices des usines qui sont ordinairement construites sur les chutes.

5°. Sur les ponts des routes qui les traversent.

6°. Sur les repères en pierre qui, dans les canaux bien exécutés, sont placés au plat-fond ou sur les chaussées.

7°. Sur les ouvrages d'art des aquéducs qui traversent des torrens, des rivières ou d'autres canaux.

8°. Sur les édifices qui se rencontrent aux environs du cours du canal.

9°. Sur des rochers immuables qui seraient situés près des travaux.

10°. Au niveau des plus basses eaux de la mer, si les eaux s'évacuent dans la Méditerranée; ou sur un point fixe près de l'embouchure, si l'évacuation a lieu dans une rivière ou un autre canal.

Tels sont les points où l'on peut prendre des repères. Mais comme ces repères ne doivent pas être trop multipliés, il convient de désigner plus particulièrement ceux à porter sur la table. On prendra ces derniers, savoir :

1°. Sur les ouvrages d'art de l'écluse de la prise d'eau.

2°. Sur les déversoirs de fond ou de superficie.

3°. Sur la bâtisse des écluses à vanne des principales dérivations.

4°. Sur les ponts des routes à la charge du Gouvernement.

5°. Au haut et au bas des chutes.

6°. A l'embouchure, soit dans la mer, soit dans une rivière.

7°. Dans les parties restantes, un repère au moins devra être pris sur chaque kilomètre.

La table de Nivellement à dresser sera exactement la même que celle N°. I. On observera seulement que les hauteurs portées sur la quatrième colonne, se rapporteront au niveau des plus basses eaux de la mer.

Des repères et des tables de Nivellement des canaux de navigation.

(154.) La plupart des points fixes qu'on rencontre sur les canaux d'arrosage, et où l'on peut placer des repères, se trouvent aussi sur ceux de navigation; et outre ces points, il y en a d'autres qui sont particuliers à cette dernière espèce de canaux.

1°. Dans la première classe sont les points mentionnés au n°. 153, 1°., 2°., 5°., 10°.

2°. Dans la deuxième classe se trouvent les éclu-

ses, soit ascendantes, soit descendantes, celle de l'embouchure, soit dans la mer, soit dans un fleuve, et les quais existant en divers endroits où se font les embarquemens et les débarquemens.

Les points fixes à prendre et à porter sur la table comme repères seront placés, savoir :

1°. Sur l'écluse de la prise d'eau.

2°. Sur chaque écluse ascendante et descendante.

3°. Sur l'écluse de l'embouchure, ou à la surface des basses eaux de la mer, si le canal a son embouchure dans la Méditerranée.

4°. Sur les déversoirs, soit de fond, soit de superficie.

5°. Sur les ponts des routes à la charge de l'État, et qui traversent le canal.

6°. Sur les aquéducs qui traversent des rivières à profiler.

7°. Dans la partie restante, on choisira un repère fixe de kilomètre en kilomètre, et il sera placé, ou sur les quais, ou sur les points spécifiés au n°. 153, 8°. et 9°.

Tous ces repères seront portés sur la table de Nivellement qu'on dressera conformément à celle N°. II, observant encore que les hauteurs inscrites dans la quatrième colonne, doivent se rapporter au niveau de la mer.

Des repères et des tables de Nivellement des canaux d'irrigation et de navigation tout ensemble.

(155.) On trouve en Italie des canaux qui réunissent l'irrigation à la navigation. Il n'y en a point de semblable en France, mais on peut en construire. Il faut donc désigner les points à prendre

pour repères sur le cours de ces canaux, afin de pouvoir, après leur construction, dresser les tables qui les concernent.

A l'exception des écluses ascendantes, qui ne se rencontrent point dans les canaux dont il s'agit, on peut placer des repères sur tous les autres points détaillés au nº. 154, 2º. et suivans. Ceux qu'on devra choisir de préférence, sont :

1º. Les écluses à vanne des principales dérivations.

2º. Les points détaillés au même nº. à l'exception des écluses ascendantes.

La table de Nivellement de chaque canal de cette nature, sera dressée de la même manière que celle sous le Nº. III. On aura seulement soin de rapporter au niveau de la mer, les hauteurs portées dans la quatrième colonne.

Des repères et des tables de Nivellement des aquéducs.

(156.) Tout est ouvrage d'art dans les aquéducs, ainsi on est peu embarrassé pour trouver des repères. En effet :

Les travaux de la prise d'eau doivent être en bâtisse.

Dans les parties souterraines, il faut par intervalles ménager des regards aussi en bâtisse.

Toute la partie à découvert est nécessairement de même nature. Or. ces divers objets offrent tous la plus grande stabilité.

Les repères à faire entrer dans les tables doivent être placés, savoir :

1º. Sur les ouvrages d'art de la prise d'eau.



2°. Sur les regards, dans les parties sous terre.

3°. Sur les parois latérales, dans les parties visibles.

4°. Aux environs de l'intersection avec les routes à la charge du Gouvernement.

5°. A l'intersection avec les canaux, soit d'arrosage, soit de navigation, avec les rivières à profiler.

6°. Sur les ouvrages d'art de la fin de l'aquéduc.

7°. Au haut et au bas des chutes d'eau, s'il s'en trouve.

La table de Nivellement sera dressée de la même manière que celle d'un canal d'irrigation.

Des repères et des tables de Nivellement des routes.

(157.) Les repères des routes peuvent être placés;

1°. Sur des rochers lorsqu'il y en a aux bords des routes ou dans les environs.

2°. Sur les parapets ou telle autre partie convenable des ponts et des ponceaux.

3°. Sur les pierres milliaires.

4°. Sur les piédestaux des monumens qui peuvent se trouver à portée.

5°. Sur des pierres fixes, comme celles des édifices construits aux bords et dans le voisinage des routes.

Les repères à porter sur la table seront placés, savoir :

1°. Au haut de toutes les montées.

2°. Au bas de toutes les descentes.

3°. Sur les ponts et ponceaux qui se trouvent au fond des vallées.

4°. Sur les ponts à l'intersection des canaux.

5°. A tous les embranchemens des routes, ou aux environs.

6°. Dans les traverses des communes.

7°. A tous les kilomètres dans les parties en plaine et dans les longues montées et descentes.

La table sera dressée de la même manière que celle N°. V. On observera seulement que les hauteurs de la quatrième colonne doivent être rapportées au niveau de la mer, ainsi qu'il a été dit pour les autres tables.

Des repères et des tables de Nivellement des rivières.

(158.) Les repères des rivières, pour être immuables et remplir leur objet, pourront être placés, savoir :

1°. Sur des rochers.

2°. Sur les digues en bâtisse.

3°. Sur les quais.

4°. Sur les ponts.

5°. Sur les écluses des prises d'eau de canaux.

6°. Sur les pierres dépendantes des édifices pour usines et engins, situés sur le cours des rivières où aux environs.

7°. Sur les déversoirs de barrage en bâtisse.

8°. Sur les édifices quelconques en bâtisse qui seront à portée.

9°. Enfin au niveau de la Méditerranée, ou à un point fixe pris au bord de l'Océan, selon que l'une ou l'autre de ces mers reçoit la rivière dont il s'agit.

Les repères à porter sur la table seront placés :

1°. A la source de la rivière.

2°. A son embouchure, soit dans une autre rivière, soit dans la mer.

3°. Sur tous les ponts.

4°. Sur toutes les écluses pour prise d'eau de canaux.

5°. Sur tous les quais.

6°. A tous les déversoirs de barrage.

7°. A toutes les usines.

8°. A toutes les embouchures des rivières affluentes.

9°. A tous les bacs et gués.

10°. Enfin à tous les kilomètres, dans les endroits où les repères ci-dessus seront trop éloignés les uns des autres.

La table sera dressée d'après la forme de celle N°. VI, en continuant de rapporter au niveau de la mer, les hauteurs de la première partie de la quatrième colonne.

Observations générales sur les repères et les tables de Nivellement des canaux, aquéducs, routes et rivières.

(159.) Chaque canal étant un ouvrage isolé et distinct, doit avoir sa table particulière de Nivellement. Cependant pour mettre tout l'ordre possible dans la collection à former de toutes les tables, au dépôt des Ponts et Chaussées, on pense qu'il serait à propos de les classer de la manière suivante :

1°. Il conviendrait d'avoir des registres particuliers pour les tables des canaux d'irrigation. On y porterait celles des canaux de ce genre qui existent déjà ; et à mesure que l'on en construirait de nouveaux, leurs tables seraient enregistrées à la suite des anciennes.

2°. La même mesure devrait avoir lieu respectivement pour les tables des canaux de navigation, et pour celles des canaux qui servent à la naviga-

tion et à l'irrigation tout à la fois, si l'on venait à en construire de cette dernière sorte.

Les tables des aquéducs formeraient aussi une collection particulière; mais il faudrait distinguer les aquéducs en exercice, des acquéducs anciens et de construction romaine. Ces derniers sont en grand nombre, et il est à propos que le Gouvernement les connaisse tous, le cas pouvant écheoir où il jugerait à propos d'en ordonner la restauration. Tels sont entre autres l'aquéduc du pont du Gard qui conduisait des eaux à Nîmes, celui de Barbegal qui en amenait à Arles, celui de Traconade dont on voit les restes aux environs d'Aix, celui de Fréjus que tous les voyageurs connaissent, etc. Les tables des aquéducs en exercice devraient former un registre différent de celui qui contiendrait les tables des aquéducs à restaurer.

Il est essentiel que toutes ces tables, soit pour canaux et aquéducs, soit pour routes ou pour rivières, ne contiennent aucun repère qui ne soit porté sur les profils longitudinaux y relatifs. Elles sont considérées comme un simple abrégé, comme une analyse de ces profils, par conséquent leurs élémens doivent être les mêmes.

Des avantages qui résulteraient des profils et des tables de Nivellement des canaux, aquéducs, routes et rivières.

(160.) D'après ce qui a été dit, on sent l'utilité que le Gouvernement retirerait d'une collection générale de tous les profils dressés sur une seule et même échelle, et rapportés au niveau de la mer. Les tables dont il vient d'être fait mention, comparées, soit entre elles, soit avec les profils, offrent,

de leur côté, des avantages très-considérables; on en sera aisément convaincu par les détails suivans.

(161.) Les repères portés sur les tables sont tous des points fixes et remarquables. Leur hauteur est constamment rapportée au niveau de la mer; d'où il suit que par une simple soustraction, on connaîtra la différence de niveau de tels points remarquables qu'on voudra, quelle que soit d'ailleurs leur distance respective.

(162.) Les tables des canaux d'irrigation feraient connaître quels sont ceux dont la pente n'a pas été ménagée, les dérivations mieux soutenues qu'on y pourrait pratiquer, et les usines que cet excès de pente permettrait d'y construire. En conséquence, il ne serait pas mal de mentionner dans la colonne des observations, la vitesse des eaux. Leur volume serait connu au moyen de cette vitesse et des dimensions transversales du profil; ce qui deviendrait fort utile dans plusieurs cas.

C'est ainsi qu'on pourrait examiner si un canal d'irrigation ne peut pas devenir canal de navigation, ou du moins être employé à la flottaison.

On pourra aussi par ce moyen, et d'après les notions connues sur les arrosages, juger, à la seule inspection de la carte, si un canal suffit à l'irrigation d'une contrée, et dans le cas d'insuffisance non-seulement, évaluer d'après le profil et la pente de la rivière d'où le canal est dérivé, si l'on peut en augmenter les eaux, mais encore supputer par approximation la dépense d'agrandissement sur les profils en long et en travers du canal.

(163.) Les anciens aquéducs attestent qu'un des principaux soins des Romains, était de conduire des eaux aux villes de leur domination, et l'on sent que

cet objet mérite l'attention de tout Gouvernement. Par le moyen des profils dont il s'agit, l'administration pourrait prendre les mesures convenables à l'égard de ceux des anciens aquéducs dont le rétablissement lui paraîtrait nécessaire.

(164.) La pente du lit d'une rivière fait toujours connaître, à très-peu de chose près, la vitesse des basses eaux. Les profils en donnent la coupe; par conséquent il est facile d'avoir le volume de ces eaux. C'est sur ce volume que devraient être réglées les dimensions transversales d'un canal qu'il s'agirait d'en dériver, suivant l'usage que l'on se proposerait d'en faire. Ainsi, à l'aide des profils, et des pentes qui sont indiquées, tant par eux que par les tables, on constatera la possibilité de dériver d'une rivière donnée, à un endroit déterminé, un volume d'eau connu.

(165.) Par les profils des rivières on connaîtra les dimensions de leur lit; par les tables on aura la profondeur des basses eaux et la pente; d'où il suit qu'on pourra décider :

1°. Si une rivière dont la profondeur d'eau est telle que l'exige la navigation, a en même temps la pente convenable pour naviguer à la voile ou seulement au hallage.

2°. Si, la pente rendant la navigation à la voile praticable, la profondeur d'eau est aussi telle qu'elle doit être pour cet objet, ou s'il faut se borner à la flottaison.

3°. Si certaines rivières dont la pente est trop forte, et le volume d'eau trop petit, même pour la flottaison, ne pourraient pas, au moins dans les crues ou pendant le temps des eaux moyennes, être employées à la flottaison des bois.

(166.) Lorsqu'il s'agira de faire communiquer, par un canal, deux rivières navigables, s'il ne se rencontre pas d'obstacles dans l'entre-deux, les tables indiqueront laquelle est la plus élevée, et marqueront à peu près l'endroit où devra être établi le point de dérivation.

Si une chaîne de montagnes ou de collines sépare les deux rivières, comme il arrive presque toujours que cette chaîne est traversée par quelque route qui en franchit les points les moins élevés, et que les tables des routes portent essentiellement les repères placés au sommet des montées, on jugera, par la position de ces repères, en quel endroit devra être établie la dérivation sur le cours de la rivière, pour franchir sans percement souterrain, la chaîne de montagnes dont il s'agit.

(167.) Les profils transversaux des rivières, en faisant connaître la largeur du lit majeur, ainsi que la hauteur des plus hautes eaux, mettraient à même de statuer sur la possibilité de réduire leur lit, et d'évaluer l'étendue de terrain que l'on pourrait gagner par cette opération. Ils indiqueraient aussi les endroits les plus convenables pour construire des ponts.

(168.) On prétend que plusieurs rivières exhaussent leur lit. Les repères portés sur les tables étant fixes et invariables, peuvent servir de termes de comparaison à cet égard, et faire connaître les progrès annuels de l'exhaussement; d'où se déduisent les précautions à employer contre ses pernicieux effets.

(169.) Les tables relatives aux routes offriront un moyen simple et facile d'avoir la distance de chaque repère au premier milliaire du royaume. Cette

distance sera donnée immédiatement par les tables pour les routes de la première classe; on la connaîtra pour celles de la seconde, en ajoutant la distance de l'embranchement au premier milliaire, à celle du même embranchement au repère dont il sera question; et ainsi de suite, pour les routes des classes suivantes, et pour celles d'embranchement pour lesquelles il ne faudra jamais employer que l'addition d'autant de distances partielles qu'il y aura de classes différentes. On pourrait avoir ainsi l'itinéraire le plus exact pour toute l'étendue de la France, objet à bien des égards, très-essentiel pour le Gouvernement.

(170.) Les mêmes tables feront aussi connaître, au premier abord, les parties de route dont la pente est trop rapide et qu'il faut adoucir. Connaissant ces parties, on pourra consulter les profils y relatifs qui fourniront tous les détails, et d'après lesquels on sera en état d'ordonner les changemens à faire.

(171.) En parcourant les profils transversaux des routes à roulage, on verra quelles sont celles de ces routes qui ont besoin d'être élargies; et suivant leur importance, on pourra prendre les mesures les plus propres pour leur donner la largeur convenable.

(172.) En un mot, avec le seul aide des profils et des tables y relatives, on acquiert, sans sortir du dépôt des plans, une connaissance parfaite des canaux, aquéducs, routes et rivières du royaume; et le Gouvernement peut réunir toutes les données nécessaires, soit pour juger les projets qu'on lui aura présentés, soit pour former luimême ceux qui n'ont pas encore été conçus, et dont la France est susceptible, relativement à la

partie des canaux, de la navigation intérieure, et des ponts et chaussées. Il suffira, pour cela, d'avoir sous les yeux des cartes bien détaillées telles que celle de Cassini.

(173.) Indépendamment de ces objets, il y en a d'autres auxquels ces tables pourront être appliquées avec un très-grand avantage. De ce nombre et en première ligne, est le perfectionnement de l'art de mesurer les hauteurs par le moyen du baromètre. On sait que cette méthode de niveler ne donna long-temps que des résultats approximatifs, et laissa par conséquent beaucoup à désirer. Les divers repères portés sur les tables donnant avec la plus grande précision toute sorte de hauteurs, depuis le niveau de la mer jusqu'au sommet du Mont-Cenis, du Col-de-Tende, etc. on y aurait trouvé une infinité de termes de comparaison à l'aide desquels on eût pu réformer la pratique usitée, et lui donner plutôt la perfection dont elle était susceptible, c'est-à-dire, la rendre propre à mesurer exactement la hauteur de toutes les montagnes; objet qui peut être d'une grande utilité pour l'administration.

(174.) Les tables de routes serviront aussi aux progrès de l'histoire naturelle; en effet,

1°. Les ravines et les fondrières des montagnes montrent la contexture intérieure du globe en ces endroits; on connaîtra, par les repères des tables des routes les plus voisines, la hauteur au-dessus du niveau de la mer, des diverses matières dont ces montagnes se composent. Or, cette connaissance peut faire découvrir des vérités très-utiles en géologie.

2°. On sait qu'il existe une ligne au-dessus de laquelle la fonte des neiges cesse d'avoir lieu. Cette

ligne s'abaisse continuellement à mesure qu'on avance du sud au nord ; elle est par conséquent moins élevée aux montagnes du département du Mont-Blanc, qu'aux Pyrénées. On en connaîtra la hauteur sur chaque masse de montagnes, par le moyen des repères le plus à portée.

3°. Il y a aussi une ligne au-dessus de laquelle le bois cesse de croître. C'est encore à l'aide de ces repères que l'on en pourra déterminer la hauteur.

4°. Enfin, l'expérience prouve que dans les forêts, chaque espèce d'arbres ne croît que sur une hauteur déterminée, prise dans l'atmosphère. Les mêmes repères serviront à fixer les hauteurs des lignes de démarcation de chaque espèce.

(175.) On a dit que toutes les opérations relatives aux profils et qui commenceraient ou finiraient aux bords de l'Océan, devraient s'y rapporter à des repères immuables. On a aussi fait voir comment pouvaient se lier entre eux tous les Nivellemens d'un bout à l'autre de la France. Par conséquent la hauteur de ces repères au-dessus des plus basses eaux de la Méditerranée sera connue ; ce qui rendra facile de s'assurer à quel point de la hauteur de la marée, la superficie de l'Océan est de niveau avec celle de la Méditerranée.

Du Nivellement des mines et des ouvrages de fortifications (*a*).

(176.) Il paraît convenable d'indiquer dans cet ouvrage ce que l'on exige des élèves de l'Ecole de Metz, pour la pratique du Nivellement.

Après le lever des ouvrages de fortifications et de mines, il sera procédé à leur Nivellement, tant supérieur que souterrain, sur les points déterminés par les opérations même du lever.

Ce Nivellement se fera au niveau d'eau, partout où il sera possible de l'employer. On pourra faire celui des rameaux ou écoutes, avec le niveau à perpendicule ou de maçon. Le Nivellement supérieur devra s'étendre à tons les points du terrain, correspondans à cenx des galeries et rameaux souterrains; et afin de connaître immédiatement snr la fortification, les points à niveler qui sont situés verticalement au-dessus de ceux des mines, le Nivellement supérieur ne sera fait qu'après qu'on aura rapporté sur le terrain, et marqué avec des piquets, les lignes principales du tracé des ouvrages souterrains, par les mêmes opérations qui auront servi à les lever.

(177.) Tous les Nivellemens seront rapportés à un plan de comparaison passant à dix mètres audessus du point le plus élevé.

Le registre sera fait sur les lieux même, à l'encre, et à mesure que le Nivellement s'effectuera, en remplissant les colonnes disposées comme dans le modèle ci-après.

(*a*) Extrait du travail fait par la commission chargée d'arrêter le plan d'instruction et le règlement général de l'Ecole royale d'artillerie et du génie établie à Metz.

Le Nivellement devra aussi s'étendre sur les différens points du terrain situé vers la campagne, jusqu'à trente mètres en avant des extrémités des galeries d'écoute.

Rédaction au net.

(178.) Le Nivellement pour le lever des ouvrages de fortifications et de mines étant terminé, les dessins seront faits au trait et suivant les couleurs prescrites par le tableau ci-dessous.

TABLEAU des couleurs adoptées pour les dessins au trait.

MATIÈRES.	COULEURS.	*OBSERVATIONS.*
Cuivre	Jaune	
Fer	Bleu	
Verre	Vert	
Bois	Noir ou brun..	Quelle que soit son espèce, de quelque nature qu'elle soit.
Maçonnerie.	Rouge carmin.	On marque quelquefois sur le parement les joints ou l'appareil en traits fins rouges. Dans les profils coupés, on marque le genre de construction au trait rouge aussi sans préjudice des hachures ou du sable rouge.
Eau.......	Bleu verdâtre.	
Terrain....	Noir.........	

Les mêmes matières coupées doivent être hachées des couleurs qui leur sont assignées; quelquefois au lieu de hacher la maçonnerie coupée, on sable le profil de points rouges.

Dans la terre coupée on distingue le roc par des hachures parallèles continues, droites ou tremblées : le sable par le sablé noir ; la terre divisée , par des hachures discontinues et dirigées en différens sens.

Les profils des liquides se hachent par des lignes horizontales parallèles.

Lorsque plusieurs métaux de même nature sont employés dans une même construction, on remplit différemment leurs profils. On sable en bleu , l'acier ; on hache en traits à la règle, le fer mallé, et en traits tremblés à la main la fonte de fer ; on sable en jaune la fonte de cuivre ou le bronze ; et l'on hache le cuivre écroui, etc. Dans les différens cas , une légende doit prévenir de la règle qu'on a suivie.

Les hachures ou sablés doivent remplir le profil coupé, lorsque sa surface est peu étendue; dans le cas contraire, on les commence à la ligne qui contourne le profil, on les prolonge peu vers l'intérieur du profil, et on les termine irrégulièrement.

(179.) Toutes les opérations du lever seront tracées et ponctuées en rouge. Les cotes des longueurs seront écrites en rouge, ainsi que celle des ouvertures des angles observés. Toutes les opérations du Nivellement y seront aussi tracées et ponctuées en bleu. L'emplacement où chaque station aura été faite, y sera déterminé par un point bleu, près duquel on inscrira en bleu, et entre deux parenthèses, le numéro indiqué dans le registre de Nivellement pour chaque station. De ce point parti-

ront les directions de tous les coups de niveau que l'on aura donnés, et l'extrémité de chaque direction sera notée de la cote portée sur le registre. Toutes les cotes des ouvrages en maçonnerie seront écrites en rouge; celles des ouvrages en terre et du terrain naturel le seront en vert; celles du ciel des ouvrages souterrains, en noir, celle des eaux, en bleu.

(180.) Je joins ici un modèle de registre de Nivellement, tel qu'il doit être exécuté et dressé par les élèves de l'Ecole de l'artillerie et du génie de Metz.

LACE DE METZ.

an 18

N°. division.
N°. section.

I. (nom de l'auteur)

REGISTRE DE NIVELLEMENT.

LEVER DE FORTIFICATION ET DE MINES.

Registre du Nivellement exécuté sur la partie de fortificatio[n] *(désignations et renseignemens détaillés) et comprise sous le n°. à l'état de distribution.*

Nota. Le plan général de comparaison passe à 10 m. au-dessus du point (désignation.

NUMÉROS DES STATIONS.	POINTS SOUMIS AU NIVELLEMENT. Nos.	POINTS SOUMIS AU NIVELLEMENT. DÉSIGNATIONS.	REPÈRES	Signes des cotes.	COTES relatives au plan de niveau particulier de chaque station.	Distances des plans de niveau particulier au plan de comparaison.	COTES relatives au plan général de comparaison.
1re. STATION.		*Nivellement supérieur.*			m	m	m
Le niveau étant placé sur la plongée de la traverse à droite de la place d'armes saillante.	1	Sur le repère indiqué ci-dessus.	Repère en plan de comparaison.	+	3, 75	6, 27	10, 00
	2	Sur le sommet du profil en maçonnerie de la première traverse à droite.	»	+	0, 59	0, 0	6, 86
	3	Sur le sommet du parapet à l'angle saillant du chemin couvert.	»	+	0, 27	0, 0	6, 54
	4	Sur le saillant de l'escarpe de la demi-lune.	Pour la 2e. station,	+	1, 43	0, 0	7, 70
	5	Sur le sommet du profil en maçonnerie à la place d'armes rentrante de droite.	Pour la 3e. station.	+	1, 39	0, 0	7, 66
	6	Sur la douelle de porte d'entrée de mines dans le fossé de la face droite de la demi-lune.	Pour la 13e. station.	+	7, 33	0, 0	13, 60
	7	Sur, etc.					
2me. STATION.							
Le niveau étant placé sur la plongée de la face droite de la demi-lune.	8	Sur le saillant de l'escarpe de la demi-lune.	4e. point. 1re. station.	+	3, 45	4, 25	7, 70
	9	Sur le sommet du parapet de la capitale de la demi-lune.	»	+	1, 17	0, 0	5, 52
	10	Sur la banquette du parapet de la capitale de la demi-lune.	»	+	2, 38	0, 0	6, 63
	11	Sur la tablette de la contrescarpe du réduit.	»	+	3, 29	0, 0	7, 54
	12	Sur le saillant de l'escarpe du réduit.	Pour la 5e. station.	+	2, 13	0, 0	6, 38
	13	Sur, etc.					
13e. STATION.		*Nivellement dans les mines.*					
Le niveau étant placé dans le milieu de la galerie n°. ( ).	54	Sur le palier de l'entrée de mines dans le fossé de la face droite de la demi-lune.	6e. point. 1re. station.	—	0, 54	14, 0	13, 50
14e. STATION.	55	Sur l'intersection de galerie n°. ( ) et de celle n°. ( ).	Pour la 14e. station.	+	0, 33	0, 0	14, 87
Le niveau étant placé dans le milieu de la galerie n°. ( )	56	Sur le repère indiqué ci-dess.	»	+	1, 74	10, 65	12, 39
	57	Sur l'intersection de galeria n°. ( ) et de celle n°. ( ). etc. etc.	Pour la 15e. station.	+	1, 13	0, 0	11, 78

Fait à Metz, le
Le sous-lieutenant élève de l'École royale d'artillerie et du génie. (Signature.)

MODÈLE

DE

NIVELLEMENT.

Nivellement de la plaine en deçà de la barrière de M. P., à gauche du chemin en regardant la campagne.

Nota. La figure 67, planche IX, se rapporte à ce Nivellement. L'échelle des hauteurs y est décuple de celle des distances horizontales. Celle-ci est de 0,^{m}001 pour un mètre, ou de $\frac{1}{1000}$.

(181.) *Nivellement de la plaine en deçà la barrière M. P.*

NUMÉRO des ordonnées.	DISTANCES horizontales.	COTE DE LA MIRE. Arrière.	Avant.	DIFFÉRENCE des cotes.	ORDONNÉES.
		Profil en long.			
	m	m	m	m	m
I (A)	0.	0. 000	0. 000	0. 000	3. 300
II	40.	1. 547	0. 838	— 0. 709	2. 591
III	40.	1. 369	1. 179	— 0. 190	2. 401
IV	40.	1. 255	1. 676	0. 421	2. 822
V	40.	1. 431	1. 872	0. 441	3. 263
VI	40.	1. 191	1. 820	0. 629	3. 892
VII (B)	42.	1. 239	1. 642	0. 403	4. 295
		Premier profil en travers.			
1	0. 0	0. 000	0. 000	0. 000	4. 382
2	35. 5	2. 734	1. 995	— 0. 739	3. 643
3 (II)	38. 5	2. 421	1. 369	— 1. 052	2. 591
4	43. 5	1. 301	0. 889	— 0. 412	2. 179
		Deuxième profil en travers.			
1	0. 0	0. 000	0. 000	0. 000	3. 446
2	26. 0	1. 192	1. 877	— 0. 315	3. 131
3 (III)	29. 0	2. 071	1. 341	— 0. 730	2. 401
4	23. 7	1. 666	0. 981	— 0. 685	1. 716
5	15. 5	1. 320	1. 562	0. 242	1. 958

à gauche du chemin en regardant la campagne.

INDICATION DES POINTS DE REPÈRE

ET

OBSERVATIONS.

(A) Angle de deux murs de l'enceinte près le boulevart M. P.; il est le plus avancé dans les terres.

La longueur totale du profil en long pris dans l'alignement des points (A) (B) est de 242^{m}.

(B) Angle de la maison du traiteur sur le boulevart S.

Les points des profils en travers sont numérotés de gauche à droite.

Ce troisième point est le point II du profil en long.

Ce troisième point est le point III du profil en long.

X

Nivellement de la plaine en deçà la barrière M. P.

NUMÉRO des ordonnées.	DISTANCES horizontales.	COTE DE LA MIRE. Arrière.	Avant.		DIFFÉRENCE des cotes.	ORDONNÉES.
		Troisième profil en travers.				
	m	m	m		m	m
1	0. 0	0. 000	0. 000		0. 000	2. 520
2	34. 0	1. 358	1. 950		0. 592	3. 112
3 (IV)	32. 4	1. 821	1. 531	—	0. 290	2. 822
4	32. 9	1. 509	0. 995	—	0. 514	2. 308
5	22. 7	1. 191	0. 984	—	0. 207	2. 101
		Quatrième profil en travers.				
1	0. 0	0. 000	0. 000		0. 000	2. 917
2	25. 7	1. 016	0. 987	—	0. 029	2. 888
3 (V)	27. 7	0. 718	1. 093		0. 375	3. 263
4	33. 6	1. 471	1. 851		0. 380	3. 643
		Cinquième profil en travers.				
1	0. 0	0. 000	0. 000		0. 000	3. 227
2	19. 3	0. 956	0. 989		0. 033	3. 260
3 (VI)	26. 7	0. 901	1. 533		0. 632	3. 892
4	57. 0	1. 239	1. 840		0. 601	4. 493

à gauche du chemin en regardant la campagne.

INDICATION DES POINTS DE REPÈRE ET OBSERVATIONS.
Ce point est à l'angle d'un fossé. Ce troisième point est le point IV du profil en long. Ce point est occupé par un grand peuplier.
Ce point est au pied d'une borne. Ce troisième point est le point V du profil en long.
Ce point est occupé par le puits d'une carrière. Ce troisième point est le point VI du profil en long.

FIN DE LA SECONDE PARTIE.

DU NIVELLEMENT BAROMÉTRIQUE.

Il n'est personne qui ne sache que l'élévation du mercure dans le baromètre, ne soit due au poids de l'air atmosphérique, dont la densité diminue toutes choses égales d'ailleurs, à mesure que l'on s'élève au-dessus de la surfače niveau des mers. Il existe donc une relation entre les hauteurs des colonnes de mercure du baromètre observées en deux lieux différens de la terre, et la différence de niveau vrai de ces lieux. C'est dans la recherche de cette relation, que consiste la théorie du Nivellement barométrique.

Les avantages précieux qu'offre cette méthode de Nivellement, l'ont rendue digne des recherches des savans les plus distingués; et leurs travaux permettent d'en obtenir aujourd'hui, des résultats d'une exactitude comparable à celle des résultats que fournit l'emploi des divers niveaux. C'est ce qui nous engage à rapporter dans ce volume, ce qu'il est utile de savoir pour se livrer à ce genre de Nivellement, que l'on peut exécuter avec beaucoup de promptitude, et qui n'exige qu'un petit nombre de données faciles à observer.

Démonstration élémentaire de la formule de M. Laplace, pour calculer les différences de niveau vrai, à l'aide des observations barométriques.

Nous allons transcrire ici la démonstration élémentaire de cette formule, donnée par M. Petit dans la Correspondance sur l'Ecole polytechnique (vol. II, page 347).

Supposons l'atmosphère divisée en une suite de couches horizontales d'une épaisseur très-petite, et représentons les épaisseurs de ces couches par h, h', h''...., ces quantités pouvant être aussi petites qu'on voudra.

Soient g, g', g''...., les intensités de la pesanteur dans chacune de ces couches, intensités que nous regardons comme constantes dans toute l'étendue d'une même couche, et variables d'une couche à l'autre en raison inverse du carré de leurs distances au centre de la terre.

Soient ρ, ρ', ρ''...., les densités respectives de ces différentes couches.

Soit r le rayon de la terre, et x la température de l'atmosphère que nous supposerons constante.

Représentons enfin par P le poids de l'atmosphère jusqu'à la surface de la terre; par P', ce même poids jusqu'à la surface supérieure de la 1re. couche; par P'' ce poids jusqu'à la surface supérieure de la 2e. couche, et ainsi de suite. Les poids de ces différentes couches seront représentés par $P-P'$, $P'-P''$, $P''-P'''$, etc.; on aura donc

$$P-P'=g\rho h;\ P'-P''=g'\rho'h';\ P''-P'''=g''\rho''h'', \text{etc.}$$

or on sait qu'en désignant par P la force élastique d'un gaz, par ρ sa densité, et par x sa température, on a

$$P=a\rho\,(1+0{,}00375\,x);$$

a étant un coefficient constant pour chaque espèce de gaz, et qui doit être déterminé par l'expérience. Faisant pour abréger $a\,(1+0{,}00375\,x)=m$, on aura

$$P=m\rho;\ P'=m\rho';\ P''=m\rho'', \text{etc.}$$

donc,

$$P-P'=gh\frac{P}{m};\ P'-P''=g'h'\frac{P'}{m};\ P''-P'''=g''h''\frac{P''}{m},\ \text{etc.}$$

partant,

$$P'=P\left(1-\frac{gh}{m}\right);\ P''=P'\left(1-\frac{g'h'}{m}\right);\ P'''=P''\left(1-\frac{g''h''}{m}\right)$$

Supposons maintenant que les épaisseurs successives h, h', h'', soient telles, que l'on ait $gh = g'h' = g''h''$, etc., on aura

$\frac{P'}{P}=\frac{P''}{P'}=\frac{P'''}{P''}$, etc, c'est-à-dire que les forces élastiques de l'air formeront une progression géométrique décroissante dont le rapport sera $\left(1-\frac{gh}{m}\right)$.

L'intensité de la pesanteur étant réciproque au carré de la distance au centre de la terre, on a

$$\frac{g}{g'}=\frac{(r+h)^2}{r^2};\ \frac{g'}{g''}=\frac{(r+h+h')^2}{(r+h)^2};\ \frac{g''}{g'''}=\frac{(r+h+h'+h'')^2}{(r+h+h')^2}$$

par conséquent,

$$\frac{h'}{h}=\frac{(r+h)^2}{r^2};\ \frac{h''}{h'}=\frac{(r+h+h')^2}{(r+h)^2};\ \frac{h'''}{h''}=\frac{(r+h+h'+h'')^2}{(r+h+h')^2}$$

Or les quantités h, $(h+h')$, $(h+h'+h'')$, sont nécessairement très-petites par rapport à r; on pourra donc négliger leurs carrés, ce qui réduira les équations précédentes à celles-ci :

$$\frac{h'}{h}=\frac{r^2+2hr}{r^2};\ \frac{h''}{h'}=\frac{r^2+2r(h+h')}{r^2+2rh};\ \frac{h'''}{h''}=\frac{r^2+2r(h+h'+h'')}{r^2+2r(h+h')}$$

Effectuant les divisions, et négligeant les termes dans lesquels r entre à une puissance supérieure à la première dans le dénominateur, sans entrer dans le numérateur, on aura

$$h' = h\left(1 + \frac{2h}{r}\right);\ h'' = h'\left(1 + \frac{2(h+h')}{r}\right);\ h''' = h''\left(1 + \frac{(2h+h'+h'')}{r}\right)$$

On en conclura encore, en substituant successivement et négligeant toujours les termes dont le numérateur est indépendant de r, et dont le dénominateur renferme cette même lettre à des puissances supérieures,

$$h + h' = 2h\left(1 + \frac{h}{r}\right);$$

$$h + h' + h'' = 3h\left(1 + \frac{2h}{r}\right);$$

$$h + h' + h'' + h''' = 4h\left(1 + \frac{3h}{r}\right);$$

et en général

$$h + h' + h'' + \ldots + h^{(n-1)} = nh\left(1 + \frac{(n-1)h}{r}\right).$$

Si l'on suppose donc qu'on s'élève successivement dans l'atmosphère à des hauteurs

$$0;\ h;\ 2h\left(1 + \frac{h}{r}\right);\ 3h\left(1 + \frac{2h}{r}\right);\ \ldots nh\left(1 + \frac{(n-1)h}{1}\right)$$

Les forces élastiques de l'air correspondantes à ces différentes hauteurs au-dessus de la surface de la terre seront

$$P;\ P\left(1 - \frac{gh}{m}\right);\ P\left(1 - \frac{gh}{m}\right)^2;\ P\left(1 - \frac{gh}{m}\right)^3;\ldots P\left(1 - \frac{gh}{m}\right)^n$$

en sorte que si l'on fait

$$nh\left(1 + \frac{(n-1)h'}{r}\right) = H;\ \text{et}\ P\left(1 - \frac{gh}{m}\right)^n = P';$$

P' sera la force élastique de l'air à la hauteur H au-dessus de la surface de la terre.

Divisons tous les termes de la dernière série par P, on aura la progression géométrique

$$1 : \left(1-\frac{gh}{m}\right) : \left(1-\frac{gh}{m}\right)^2 : \ldots \left(1-\frac{gh}{m}\right)^n = \frac{P'}{P},$$

et comparons-lui la progression arithmétique

$$0 \,.\, 1 \,.\, 2 \,.\, 3 \ldots\ldots n = \frac{H}{h\left(1-\frac{(n-1)h}{r}\right)}.$$

Chaque terme de cette dernière progression sera évidemment le logarithme du terme correspondant de la première, dans le système dont la base est $\left(1-\frac{gh}{m}\right)$; on aura donc, en désignant ces logarithmes par la lettre L,

$$\frac{H}{h\left(1+\frac{(n-1)h}{r}\right)} = L.\frac{P'}{P} = n.$$

Mais on a

$$nh = \frac{H}{\left(1+\frac{(n-1)h}{r}\right)}$$

Effectuant la division et négligeant toujours les termes que l'on est convenu de supprimer, il viendra

$$nh = H\left(1-\frac{(n-1)h}{r}\right), \quad \text{d'où} \quad nh = \frac{H\left(1+\frac{h}{r}\right)}{1+\frac{H}{r}}.$$

Remplaçant n par sa valeur, on aura

$$\frac{H}{1+\frac{H}{r}}=\frac{1}{1+\frac{h}{r}}\cdot hL\left(\frac{P'}{P}\right)$$

Pour transformer le logarithme qui entre dans le second membre de cette équation en logarithme décimal, il faut le diviser par le logarithme décimal de la base $\left(1-\frac{gh}{m}\right)$; on aura donc, en désignant ces nouveaux logarithmes par la lettre l:

$$\frac{H}{1+\frac{H}{r}}=\frac{\frac{m}{g}}{1+\frac{h}{r}}\cdot\frac{\frac{gh}{m}}{l\left(1-\frac{gh}{m}\right)}\cdot l\cdot\left(\frac{P'}{P}\right).\ (a).$$

L'équation à laquelle nous venons de parvenir sera d'autant plus exacte que la quantité h sera plus petite. Elle sera donc tout-à-fait conforme à la véritable constitution de l'atmosphère, si l'on y fait h infiniment petit. Le premier facteur $\frac{\frac{m}{g}}{1+\frac{h}{r}}$ se réduit alors à $\frac{m}{g}$. Le rapport $\frac{\frac{gh}{m}}{l\left(1-\frac{gh}{m}\right)}$ devient $\frac{0}{0}$; mais il est évident qu'à cette limite il ne peut être ni nul ni infini, puisqu'alors la quantité $\frac{H}{1+\frac{H}{r}}$ serait nulle ou infinie, quelque fût H, ce qui est

absurde. De plus, ce rapport doit se réduire à une quantité négative que nous représenterons par $-K$, car le facteur $l\left(\frac{P'}{P}\right)$ est négatif, puisque P' est plus petit que P, et la quantité $\frac{H}{1+\frac{H}{r}}$ est essentiellement positive. On a donc

$$\frac{H}{1+\frac{H}{r}}=\frac{mK}{g}\,l\left(\frac{P}{P'}\right).$$

Supposons maintenant que l'on ait observé les hauteurs barométriques à la surface de la terre et à la hauteur H au-dessus de cette surface. Soient T et T' les températures du mercure aux instans de ces deux observations. (Ces températures sont indiquées par un thermomètre en contact avec le baromètre). Le mercure se condensant de $\frac{1}{5412}$ pour un degré centigrade de diminution dans la température, il en résulte que si δ est la densité de ce fluide à la température T, c'est-à-dire à la première observation, $\delta\left(1+\frac{T-T'}{5412}\right)$ sera celle qui répond à la température T'; si l'on appelle donc z et z' les hauteurs barométriques observées, on aura

$$\frac{P}{P'}=\frac{gz\delta}{g'z'\delta\left(1+\frac{T-T'}{5412}\right)}$$

g et g' étant les intensités de la pesanteur à la première et à la seconde station. On a d'ailleurs

$$\frac{g}{g'} = \frac{(r+H)^2}{r^2} = \left(1+\frac{H}{r}\right)^2$$

donc

$$\frac{p}{P'} = \frac{z\left(1+\frac{H}{r}\right)^2}{z'\left(1+\frac{T-T'}{5412}\right)}$$

par conséquent

$$H = \left(1+\frac{H}{r}\right)\left\{l\frac{z}{z'\left(1+\frac{T-T'}{5412}\right)} + 2\,l\left(1+\frac{H}{r}\right)\right\}\frac{mK}{g}.$$

Soient encore t et t' les températures de l'air à la surface de la terre et à la hauteur H (ces températures diffèrent en général des températures T et T'). Nous supposerons $x = \frac{t+t'}{2}$; enfin pour tenir compte de la quantité d'eau en vapeur que l'air contient, il est nécessaire d'augmenter un peu le coefficient 0,00375, et de le porter à $0{,}004 = \frac{1}{250}$. En effet, à égalité de température, et sous la pression ordinaire de l'atmosphère, la densité de la vapeur n'est à peu près que les $\frac{5}{8}$ de celle de l'air; l'air est donc d'autant plus léger qu'il contient plus de vapeur; or il en contient d'autant plus que la température est plus élevée : ce qui fait que quand l'air est dilaté par la chaleur, son poids diminue dans un plus grand rapport que son volume n'augmente. Remplaçant donc m par sa valeur, on aura

$$H = \frac{aK}{g}\left(1+\frac{2(t+t')}{1000}\right)\times$$

$$\left(l.\frac{z}{z'\left(1+\frac{(T+T')}{5412}\right)} + 2\,l\left(1+\frac{H}{r}\right)\right)\left(1+\frac{H}{r}\right).\quad (a).$$

On déterminera le coefficient $\frac{ak}{g}$ en faisant usage d'une hauteur bien connue par des mesures trigonométriques. On prendra cette hauteur pour la valeur de H et on substituera à la place de t, t' T', T'', z, z' leurs valeurs observées ; on remplacera r par sa valeur 6366198 mètres. L'équation (a) déterminera alors le coefficient inconnu $\frac{ak}{g}$. En prenant une moyenne entre un grand nombre d'observations faites à la latitude de 50°, on l'a trouvée égale à 18336 mètres. Ce coefficient varie avec la latitude du lieu, à cause de la quantité g qui entre à son dénominateur. Si l'on veut avoir égard à cette variation, on aura

$$\frac{aK}{g} = 18336^{\text{mèt.}} \left(1 + (0{,}002837) \cos 2\psi\right)$$

ψ étant la latitude du lieu de l'observation.

Enfin pour résoudre l'équation (a) qui contient l'inconnue dans ses deux membres, il suffit d'observer que la quantité $\frac{H}{r}$ étant nécessairement très-petite, on peut la supposer nulle dans une première approximation. On substituera ensuite cette première valeur de H dans le second membre de l'équation (a), ce qui fournira une seconde valeur de H qui ne différera de la véritable que d'une quantité de l'ordre du carré de $\frac{H}{r}$, c'est-à-dire tout-à-fait négligeable.

Baromètre à cuvette de Fortin.

Jusqu'à ces derniers temps on ne se servait guère en voyage, que du baromètre de Fortin. Cet instrument est composé d'un tube de verre AB (*fig.* 68), bouché à son extrémité supérieure B, défendu par une monture en cuivre, et communiquant par son autre extrémité à du mercure MM, contenu dans une cuvette *abcd*, dont le fond *ab* mobile à l'aide d'une vis V, peut forcer la surface de ce mercure à s'élever plus ou moins dans son intérieur. Le bout *i* d'une pointe d'ivoire dont est armée verticalement la partie supérieure de la paroi de cette cuvette, sert à y indiquer le passage du plan horizontal du zéro d'une échelle, fixée le long du tube de verre mentionné, contre lequel est encore adapté un thermomètre à mercure très-sensible. Un anneau curseur embrasse la monture de l'instrument, et porte un vernier servant à lire les parties et fractions de partie de l'échelle qui mesurent la hauteur de la colonne de mercure du tube de verre, lorsque sa ligne de foi que rendent sensible deux petits plans horizontaux, a été ramenée au haut de cette colonne. Enfin la boîte destinée à renfermer tout l'instrument se décompose de manière à devenir un trépied qui lui sert de support.

Lorsque l'on veut mesurer la hauteur de la colonne de mercure du baromètre, on dirige le tube de cet instrument suivant la verticale à l'aide de son étui trépied. Alors la vis qui fait mouvoir le fond de la cuvette suffit, pour mettre la surface du mercure en contact avec la pointe d'ivoire, qui l'arrête dans l'horizon du zéro de l'échelle; l'instant où cette circonstance a lieu, peut être facilement saisi

en observant le mouvement de l'image de la pointe réfléchie sur le mercure. On fait ensuite mouvoir l'anneau curseur, jusqu'à ce que les petits plans qui représentent la ligne de foi du vernier, soient dans le plan tangent à la surface convexe qui termine le haut de la colonne de mercure; le nombre indiqué par le vernier dans cette position, sera la hauteur cherchée de cette colonne. Il est nécessaire que le vernier puisse donner au moins des décimillimètres.

Le petit thermomètre du baromètre fournira la température du mercure à l'instant de l'observation, celle de l'air ambiant se mesurera avec un thermomètre libre.

Baromètre à syphon de M. Gay-Lussac.

Le baromètre à syphon exclusivement employé par Deluc, fut abandonné après lui; mais depuis que M. Gay-Lussac en a modifié la construction, cet instrument est devenu très-portatif, et paraît devoir être le seul dont les observateurs se serviront désormais. Ce baromètre est composé de deux tubes de verre AB, CD (*fig.* 69) d'inégale longueur, mais de même diamètre, afin d'anéantir l'effet de leur capillarité; le plus court CD, est situé verticalement au-dessous de l'autre; ils sont réunis et communiquent entre eux par un tube capillaire EF, aussi de verre, convenablement recourbé, aboutissant à leurs extrémités inférieures A, C; leurs deux autres extrémités D, B, sont scellées, et la paroi latérale du plus court est percée d'un trou capillaire T, qui permet à ce tube de remplir les fonctions de cuvette. Une échelle est disposée le long des deux tubes mentionnés, pour servir à mesurer la hauteur de la colonne de mercure qui s'élève dans le plus long. Si cette

échelle est fixe relativement aux tubes, il est nécessaire qu'elle soit munie de deux verniers. La ligne de foi de l'un se ramène au niveau M du mercure dans le tube cuvette, celle de l'autre doit être arrêtée au haut *m* de la colonne de mercure à mesurer; alors la différence des deux nombres indiqués par les verniers donnera la hauteur de la colonne, si le zéro de l'échelle est au-dessous du niveau du mercure dans le tube cuvette; ce sera au contraire la somme de ces nombres si le zéro étant situé au-dessus du niveau mentionné, la graduation de l'échelle s'étend de part et d'autre. Dans le cas où l'échelle est mobile il n'est besoin que d'un seul vernier, parce qu'on peut alors ramener le zéro de l'échelle au niveau M, du mercure dans le tube cuvette, ce qui fait que le vernier étant arrêté au haut de la colonne de mercure dans l'autre tube, le nombre qu'il indique est la hauteur de cette colonne.

Pour transporter ce baromètre d'un lieu dans un autre, sans risques et avec facilité, on a coutume de le renfermer dans une espèce de canne, qui embrasse aussi le petit thermomètre à mercure, destiné à mesurer la température de la colonne de ce métal contenu dans le grand tube du baromètre. Avant de se mettre en route, on le retourne doucement sens dessus dessous (*fig.* 70); le mercure remplit alors la capacité du grand tube AB, et du tube capillaire recourbé EF; l'excédant M, qui doit être en petite quantité s'en sépare, et se porte dans la partie D maintenant la plus basse du tube cuvette DC, de l'intérieur duquel les cahos du transport ne sauraient le faire sortir.

J'ai vu un baromètre qui ne différait du précédent qu'en ce que le tube cuvette CD (*fig.* 71) n'était pas situé dans le prolongement du grand tube AB,

et qu'au lieu d'être percé d'un trou capillaire, son extrémité supérieure D, était ouverte; un bouchon de liége *b*, adapté à un morceau de fil de fer *f*, pouvait être introduit dans le tube cuvette qu'il bouchait hermétiquement, et forçait le mercure à remplir, quand on le voulait, la capacité entière du grand tube, vers l'extrémité B duquel était pratiqué un étranglement, pour amortir le choc du mercure; l'échelle de cet instrument était gravée sur les tubes mêmes.

Des circonstances les plus favorables aux observations barométriques, et de l'utilité de ces observations.

Voici ce que dit à ce sujet M. Biot, dans son *Traité d'astronomie*. Au moyen de la formule de M. Laplace, on peut déterminer très-exactement les différences de niveau, d'après les observations barométriques; mais il faudra que ces observations soient faites avec beaucoup de soin et avec de très-bons instrumens, sans quoi on y pourrait trouver de grandes erreurs. On choisira autant que possible un temps calme et l'heure de midi. Un observateur se rendra à la station inférieure, un autre à la station supérieure, avec des baromètres et des thermomètres préalablement comparés. Là chacun d'eux fera, à des heures marquées, l'observation de la hauteur du baromètre; il notera au même instant l'état du thermomètre attaché au baromètre pour avoir la température du mercure, et celui d'un thermomètre libre très-sensible, exposé à l'ombre ainsi que le baromètre, et destiné à donner la température de l'air. Ces observations se répéteront de quart d'heure en quart d'heure, d'après des montres bien réglées l'une sur l'autre, jusqu'à ce qu'on en ait réuni un certain nombre, par exemple, dix

ou douze. Alors les deux observateurs se rejoindront, compareront de nouveau leurs baromètres et leurs thermomètres pour voir s'ils n'auraient éprouvé aucun accident. S'ils se trouvent exactement d'accord, on prendra la moyenne des observations faites à chaque station, et l'on calculera, avec ces moyennes, la différence de niveau. Si l'on a opéré avec toutes les précautions que nous avons prescrites, le résultat ne sera susceptible que de très-petites erreurs, dues aux irrégularités accidentelles de pression et de température des couches atmosphériques : erreurs que l'on fera disparaître par leur compensation réciproque, en répétant les expériences à différens jours, et prenant une moyenne arithmétique entre tous les résultats. En réunissant ainsi cinq ou six séries d'observations correspondantes, faites avec de bons thermomètres, et avec un baromètre muni d'un nonius qui donne au moins les dixièmes de millimètre, on peut répondre de 2 ou 3 mètres sur les plus grandes hauteurs.

Si par une longue suite d'observations faites dans un même lieu on détermine la hauteur moyenne du baromètre, et la température moyenne de l'atmosphère, on peut, au moyen de la formule, trouver la hauteur de ce lieu au-dessus du niveau de la mer, ou de tout autre point déterminé. Pour cela, il faut aussi avoir dans le second point la hauteur moyenne du baromètre et du thermomètre, et calculer ensuite d'après la formule, comme on le ferait relativement à deux stations où l'on aurait des observations correspondantes. Ceci suppose que la température moyenne de la surface de la terre, reste toujours constante ainsi que la hauteur du baromètre dans chaque lieu ; il est possible que ces élémens éprouvent quelques variations ;

mais l'invention du baromètre et du thermomètre est trop moderne pour que l'on ait quelques données à cet égard ; du moins on peut sans aucune erreur sensible regarder leurs valeurs comme constantes pendant l'intervalle de quelques années.

Pour effectuer ces calculs, il faut connaître la hauteur moyenne du baromètre au niveau de l'Océan. Suivant les expériences de M. Shuckburg, qui sont regardées comme très-exactes, elle est de 0,m7629 (28po, 2l. 2) à la latitude de 50° sexag., la température moyenne de l'air et du baromètre étant 12°,8 de la division centésimale. A Paris, au niveau des moyennes eaux de la Seine, sous le Pont-Royal, la hauteur moyenne du baromètre est 0,m76, et la température moyenne est 12°; avec ces données, lorsqu'on aura une longue série de bonnes observations faites dans un même lieu, on pourra trouver la hauteur de ce lieu au-dessus du niveau de Paris ou de l'Océan.

Des observations du baromètre, calculées de cette manière et combinées avec la longitude et la latitude, serviraient à déterminer la position des différens points de la surface terrestre. En effet, les deux coordonnées jusqu'à présent en usage déterminent seulement la projection des lieux sur la surface du globe, elles ne font point connaître leur élévation, et la hauteur du baromètre servirait à l'indiquer. Pour cela il faudrait faire, dans chaque lieu, une série d'observations du thermomètre et du baromètre pendant plusieurs années, afin d'en déduire la température moyenne, et la hauteur moyenne du mercure. Il faudrait de plus n'employer que des instrumens bien faits et comparables entre eux.

Un pareil travail, qui pourrait aisément s'éten-

dre à toute l'Europe, donnerait pour cette belle partie de la terre un Nivellement complet, et beaucoup plus étendu que ne le comportent les mesures trigonométriques. Il indiquerait parfaitement la direction des chaînes de montagnes, la pente des fleuves, et ferait partout sentir la forme du terrain beaucoup mieux que de simples descriptions. La géographie physique, trop peu cultivée parmi nous, en retirerait sans aucun doute une grande utilité.

Pour engager les observateurs à entreprendre ce travail, on a joint ici une table qui, sans autre calcul que de simples additions ou soustractions de nombres, donnera l'élévation des lieux et les différences de niveau, d'après les hauteurs observées du baromètre et du thermomètre.

Tables pour calculer la hauteur des montagnes d'après les observations barométriques.

Ces tables sont dues à M. Oltmanns; elles semblent être, au rédacteur de l'Annuaire du bureau des longitudes, les plus commodes de toutes celles qui ont été publiées jusqu'ici, pour faciliter le calcul des hauteurs, du moins lorsqu'on renonce à l'usage des logarithmes; voici la marche des opérations.

Soit z la hauteur barométrique de la station inférieure exprimée en millimètres; z' celle de la station supérieure; T et T' les températures centigrades des baromètres; t et t' celles de l'air.

On cherche dans la *première table* le nombre qui correspond à z, appelons-le a : on cherche de même celui qui correspond à z'; désignons-le par la lettre b; appelons c, le nombre généralement très-petit qui, dans la *deuxième table*, est en face de $T-T'$; la hauteur approchée sera $(a-b-c)$ si $T-T'$ est positif, et $(a-b+c)$ si $T-T'$ est au contraire

négatif. Pour appliquer à cette hauteur approchée la correction dependante de la température des couches d'air, il suffira de multiplier la *millième partie* de cette hauteur par la double somme $2(t+t')$ des thermomètres libres; la correction sera positive ou négative suivant que $t+t'$ sera lui-même positif ou négatif.

La seconde et dernière correction, celle de la latitude et de la diminution de la pesanteur, s'obtiendra en prenant, dans la troisième table, le nombre qui correspond verticalement à la latitude et horizontalement à la hauteur approchée; cette correction qui ne peut jamais surpasser 28 mètres, est toujours additive.

Dans les cas très-rares où la station inférieure serait elle-même très-élevée au-dessus du niveau de la mer, il faudrait appliquer au résultat une petite correction dont on trouverait la valeur à l'aide de la table quatrième.

TABLE Ire. Argument z et z'.

Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.
	m.		m.		m.		m.
370	418,5	382	672,7	394	919,0	406	1157,9
371	440,0	383	693,5	395	939,2	407	1177,5
372	461,5	384	714,3	396	959,3	408	1197,1
373	482,9	385	735,0	397	979,4	409	1216,6
374	504,2	386	755,6	398	999,5	410	1236,0
375	525,4	387	776,2	399	1019,5	411	1255,4
376	546,6	388	796,8	400	1039,4	412	1274,8
377	567,8	389	817,3	401	1059,3	413	1294,1
378	588,9	390	837,8	402	1079,1	414	1313,3
379	609,9	391	857,2	403	1098,9	415	1332,5
380	630,9	392	878,5	404	1118,6	416	1351,7
381	651,8	393	898,8	405	1138,3	417	1370,8

SUITE DE LA TABLE Ire.

Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.
	m.		m.		m.		m.
418	1389,9	460	2152,3	502	2848,1	544	3487,9
419	1408,9	461	2169,6	503	2864,0	545	3502,5
420	1427,9	462	2186,9	504	2879,8	546	3517,2
421	1446,8	463	2204,1	505	2895,6	547	3531,8
422	1465,7	464	2221,3	506	2911,4	548	3546,3
423	1484,6	465	2238,4	507	2927,0	549	3560,8
424	1503,4	466	2255,5	508	2942,7	550	3575,3
425	1522,2	467	2272,6	509	2958,4	551	3589,8
426	1540,8	468	2289,6	510	2974,0	552	3604,2
427	1559,5	469	2306,6	511	2989,6	553	3618,6
428	1578,2	470	2323,6	512	3005,2	554	3633,0
429	1596,8	471	2340,5	513	3020,7	555	3647,4
430	1615,3	472	2357,4	514	3036,2	556	3661,7
431	1633,8	473	2374,2	515	3051,7	557	3676,0
432	1652,2	474	2391,1	516	3067,2	558	3690,3
433	1670,6	475	2407,9	517	3082,6	559	3704,6
434	1689,0	476	2424,6	518	3097,9	560	3718,8
435	1707,3	477	2441,3	519	3113,3	561	3733,0
436	1725,6	478	2458,0	520	3128,6	562	3747,2
437	1743,8	479	2474,6	521	3143,9	563	3761,3
438	1762,1	480	2491,3	522	3159,2	564	3775,4
439	1780,3	481	2507,9	523	3174,4	565	3789,5
440	1798,4	482	2524,3	524	3189,7	566	3803,6
441	1816,5	483	2540,8	525	3204,9	567	3817,7
442	1834,5	484	2557,3	526	3220,0	568	3831,7
443	1852,5	485	2573,7	527	3235,1	569	3845,7
444	1870,4	486	2590,2	528	3250,2	570	3859,7
445	1888,3	487	2606,6	529	3265,3	571	3873,7
446	1906,2	488	2622,9	530	3280,3	572	3887,6
447	1924,0	489	2639,2	531	3296,3	573	3901,5
448	1941,8	490	2655,4	532	3310,3	574	3915,4
449	1959,6	491	2671,6	533	3325,3	575	3929,3
450	1977,3	492	2687,9	534	3340,2	576	3943,1
451	[illegible]	493	2704,1	535	3355,1	577	3956,9
452	2012,6	494	2720,2	536	3370,0	578	3970,7
453	2030,2	495	2736,3	537	3384,8	579	3984,5
454	2047,8	496	2752,3	538	3399,6	580	3998,2
455	2065,3	497	2768,3	539	3414,4	581	4011,9
456	2082,8	498	2784,4	540	[illegible]	582	4025,6
457	2100,2	499	2800,4	541	[illegible]	583	4039,3
458	2117,6	500	2816,3	542	[illegible]	584	4052,9
459	2135,0	501	2832,2	543	3473,3	585	4066,6

SUITE DE LA TABLE Ire.

Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.
	m.		m.		m.		m.
586	4080,2	628	4631,4	670	5146,9	712	5631,1
587	4093,8	629	4644,0	671	5158,8	713	5642,2
588	4107,3	630	4656,7	672	5170,6	714	5653,4
589	4120,8	631	4669,3	673	5182,5	715	5664,6
590	4134,3	632	4682,0	674	5194,3	716	5675,7
591	4147,8	633	4694,5	675	5206,1	717	5686,8
592	4161,3	634	4707,1	676	5217,9	718	5697,9
593	4174,7	635	4719,7	677	5229,7	719	5709,0
594	4188,1	636	4732,2	678	5241,4	720	5720,1
595	4201,5	637	4744,7	679	5253,2	721	5731,1
596	4214,9	638	4757,2	680	5264,9	722	5742,1
597	4228,2	639	4769,7	681	5276,6	723	5753,1
598	4241,6	640	4782,1	682	5288,3	724	5764,2
599	4254,9	641	4794,6	683	5300,0	725	5775,1
600	4268,2	642	4807,0	684	5311,6	726	5786,1
601	4281,4	643	4819,4	685	5323,2	727	5797,1
602	4294,7	644	4831,7	686	5334,8	728	5808,0
603	4307,9	645	4844,1	687	5346,4	729	5819,0
604	4321,1	646	4856,4	688	5358,0	730	5829,9
605	4334,3	647	4868,7	689	5369,6	731	5840,8
606	4347,4	648	4881,0	690	5381,1	732	5851,7
607	4360,5	649	4893,3	691	5392,7	733	5862,5
608	4373,7	650	4905,6	692	5404,2	734	5873,4
609	4386,7	651	4917,8	693	5415,7	735	5884,2
610	4399,8	652	4930,0	694	5427,2	736	5895,1
611	4412,8	653	4942,2	695	5438,7	737	5905,9
612	4425,9	654	4954,4	696	5450,1	738	5916,7
613	4438,9	655	4966,6	697	5461,5	739	5927,5
614	4451,9	656	4978,7	698	5472,9	740	5938,2
615	4464,8	657	4990,9	699	5484,3	741	5949,0
616	4477,7	658	5003,0	700	5495,7	742	5959,7
617	4490,7	659	5015,1	701	5507,1	743	5970,4
618	4503,6	660	5027,2	702	5518,4	744	5981,2
619	4516,4	661	5039,2	703	5529,8	745	5991,9
620	4529,3	662	5051,2	704	5541,1	746	6002,5
621	4542,1	663	5063,3	705	5552,4	747	6013,2
622	4554,9	664	5075,3	706	5563,7	748	6023,8
623	4567,7	665	5087,2	707	5575,0	749	6034,4
624	4580,5	666	5099,2	708	5586,2	750	6045,1
625	4593,2	667	5111,2	709	5597,5	751	6055,7
626	4606,0	668	5123,1	710	5608,7	752	6066,3
627	4618,7	669	5135,0	711	5619,9	753	6076,9

SUITE DE LA TABLE Ire.

Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.	Millim.	Mètres.
	m.		m.		m.		m.
754	6087,5	764	6192.4	773	6285,7	782	6377,8
755	6098,0	765	6202,8	774	6296,0	783	6388,0
756	6108,6	766	6213,2	775	6306,2	784	6398,2
757	6119,1	767	6223,6	776	6316,5	785	6408,3
758	6129,6	768	6234,0	777	6326,7	786	6418,5
759	6140,1	769	6244,4	778	6337,0	787	6428.6
760	6150,6	770	6254,7	779	6347,2	788	6438,7
761	6161,1	771	6265,0	780	6357,4	789	6448,8
762	6171,5	772	6275,4	781	6367,6	790	6458,9
763	6182,0						

TABLE II.

Argum. T—T'. Thermom. centigrades du baromètre.

o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.
0,2	0,3	5,2	7,6	10,2	15 0	15,2	22,4
0,4	0,6	5,4	7,9	10,4	15,3	15,4	22,7
0,6	0,9	5,6	8,2	10,6	15,6	15,6	22,9
0,8	1,2	5,8	8,5	10,8	15,9	15,8	23,2
1,0	1,5	6,0	8,8	11,0	16,2	16,0	23,5
1,2	1,8	6,2	9,1	11,2	16,5	16,2	23,8
1,4	2,1	6,4	9,4	11,4	16,8	16,4	24,1
1,6	2,3	6,6	9,7	11,6	17,1	16,6	24,4
1,8	2,6	6,8	10,0	11,8	17,4	16,8	24,7
2,0	2,9	7,0	10,3	12,0	17,6	17,0	25,0
2,2	3,2	7,2	10,6	12,2	17,9	17,2	25,3
2,4	3,5	7,4	10,9	12,4	18,2	17,4	25,6
2,6	3,8	7,6	11,2	12,6	18,5	17,6	25,9
2,8	4,1	7,8	11,5	12,8	18,8	17,8	26,2
3,0	4,4	8,0	11,8	13,0	19,1	18,0	26,5
3,2	4,7	8,2	12,1	13.2	19,4	18,2	26,8
3,4	5,0	8,4	12,4	13,4	19,7	18,4	27,1
3,6	5,3	8,6	12,6	13,6	20,0	18,6	27,4
3,8	5,6	8,8	12,9	13,8	20.3	18,8	27,7
4,0	5,9	9,0	13,2	14,0	20,6	19,0	28,0
4,2	6,2	9,2	13,5	14,2	20,9	19,2	28,2
4,4	6.5	9,4	13,8	14,4	21,2	19,4	28,5
4,6	6,8	9,6	14,1	14,6	21,5	19,6	28,8
4,8	7,1	9,8	14,4	14,8	21,8	19,8	29,1
5,0	7,4	10,0	15,0	15,0	21,1		

Pour avoir la correction due à la température de l'air, multipliez la millième partie de la différence des nombres correspondans à z' et z plus ou moins le nombre correspondant à $T-T'$, selon que $T-T'$ est positif ou négatif, par la double somme des thermomètres centigrades libres. Cette correction a le même signe que la somme de ces thermomètres.

TABLE III.

Argum. Latitude sexages. du lieu (correction toujours additive).

HAUTEUR, approch.	0°	5°	10°	15°	20°	25°
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
200	1,2	1,2	1,2	1,0	1,0	1,0
400	2,4	2,4	2,4	2,2	2,0	2,0
600	3,4	3,4	3,4	3,2	3,0	2,8
800	4,5	4,5	4,5	4,3	4,1	3,8
1000	5,7	5,7	5,7	5,3	5,1	4,8
1200	7,0	7,0	6,8	6,4	6,0	5,8
1400	8,2	8,2	8,0	7,6	7,1	6,7
1600	9,2	9,2	9,0	8,8	8,2	7,6
1800	10,4	10,4	10,2	9,8	9,4	8,6
2000	11,6	11,5	11,3	11,0	10,4	9,6
2200	12,8	12,6	12,6	12,1	11,4	10,6
2400	14,0	14,0	13,8	13,3	12,5	11,6
2600	15,2	15,2	15,0	14,4	13,6	12,6
2800	16,6	16,5	16,4	15,6	14,8	13,6
3000	17,9	17,7	17,6	16,8	15,8	14,6
3200	19,1	18,9	18,7	18,0	17,0	15,7
3400	20,5	20,3	20,1	19,3	18,4	16,9
3600	21,8	21,7	21,4	20,4	19,6	18,0
3800	23,1	22,9	22,6	21,6	20,6	19,1
4000	24,6	24,4	24,0	22,9	21,9	20,3
4200	25,9	25,7	25,3	24,3	23,0	21,6
4400	27,5	27,3	26,8	25,8	24,3	23,0
4600	28,9	28,7	28,2	27,1	25,6	24,3
4800	30,4	30,2	29,6	28,4	27,0	25,5
5000	31,8	31,6	30,9	29,8	28,4	26,7
5200	33,0	32,8	34,1	31,0	29,7	28,0
5400	34,3	34,1	33,5	32,4	30,8	29,2
5600	35,7	35,5	34,8	33,7	32,1	30,2
5800	37,1	36,9	36,1	35,0	33,2	31,3
6000	38,5	38,3	37,5	36,3	34,3	32,3

SUITE DE LA TABLE III.

HAUTEUR approch.	30°	35°	40°	45°	50°	55°
	m.	m.	m.	m.	m.	m.
200	0,8	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4
400	1,8	1,7	1,4	1,2	1,0	0,8
600	2,6	2,4	2,0	1,8	1,6	1,2
800	3,5	3,1	2,8	2,4	2,0	1,7
1000	4,3	3,8	3,4	3,1	2,6	2,2
1200	5,1	4,6	4,2	3,6	3,1	2,6
1400	6,1	5,4	4,8	4,2	3,6	3,0
1600	7,0	6,2	5,6	4,8	4,1	3,4
1800	8,0	7,0	6,3	5,4	4,6	3,8
2000	8,8	7,8	7,0	6,0	5,1	4,2
2200	9,7	8,6	7,6	6,6	5,6	4,6
2400	10,6	9,4	8,4	7,2	6,1	5,1
2600	11,6	10,5	9,2	8,0	6,8	5,6
2800	12,6	11,4	10,0	8,8	7,4	6,2
3000	13,6	12,2	10,8	9,4	8,0	6,6
3200	14,6	13,1	11,5	10,1	8,6	7,0
3400	15,7	14,1	12,4	10,9	9,2	7,7
3600	16,7	15,0	13,4	11,6	9,8	8,2
3800	17,7	15,9	14,3	12,4	10,5	8,7
4000	18,7	17,0	15,1	13,1	11,2	9,4
4200	19,9	18,0	15,9	14,0	12,0	10,1
4400	21,1	19,1	16,9	15,0	12,9	10,8
4600	22,3	20,3	18,0	15,9	13,6	11,5
4800	23,4	21,3	19,0	16,7	14,3	12,1
5000	24,6	22,3	19,9	17,4	15,0	12,7
5200	25,7	23,3	20,8	18,2	15,7	13,3
5400	26,7	24,3	21,7	19,1	16,4	13,9
5600	27,8	25,3	22,6	19,9	17,2	14,5
5800	28,9	26,3	23,6	20,7	17,8	15,1
6000	30,0	27,3	24,6	21,5	18,5	15,7

TABLE IV.

Correction pour 1000^m de haut.

z	Mètres.	z	Mètres.
400	1,71	600	0,63
450	1,3[illegible]	650	0,42
500	1,11	700	0,22
550	0,86	750	0,03

Soit, par exemple, à la station inférieure, $z = 600$ millim., et la différence de niveau calculée $= 1500^m$, vous aurez.......... $1000 : 0,63 = 1500 : 0^m,95$, d'où la différence de niveau corrigée $= 1500^m,95$. Cette correction est toujours additive.

Table pour corriger l'effet de l'action capillaire des tubes des baromètres.

Lorsqu'on fera usage d'un baromètre à cuvette, la hauteur de la colonne de mercure observée sera toujours un peu faible, à cause de l'action réciproque du mercure et de la très-petite quantité d'eau en vapeur, dont il est impossible de purger entièrement l'intérieur du tube de verre du baromètre par l'ébullition du mercure ; il faudra donc augmenter les hauteurs des colonnes observées d'après la table suivante due à M. Laplace.

Diamètre intérieur des tubes en millimètres.	Dépression en millimètres.	Diamètre intérieur des tubes en millimètres.	Dépression en millimètres.
2	4,5570	11	0,3506
3	2,9023	12	0,2602
4	2,0388	13	0,2047
5	1,5055	14	0,1597
6	1,1482	15	0,1245
7	0,8813	16	0,0970
8	0,6851	17	0,0754
9	0,5354	18	0,0586
10	0,4201	19	0,0430
		20	0,0352

Type du calcul d'une hauteur d'après des observations barométriques.

M. de Humboldt a trouvé les quantités suivantes pour résultats de ses observations barométriques, faites à Guanaxuato et au bord de la mer.

	Hauteur du baromètre.	Thermomètre du baromètre.	Thermomètre libre.	Latitude.
Station supérieure à Guanaxuato......	$z' = 600^{mm}\ 93$	$T' = +21°\ 3$	$t' = +21°\ 3$	21°
Station inférieure au bord de la mer...	$z = 763\ \ 15$	$T = +25\ \ 3$	$t = +25\ \ 3$	
		$T - T' = +\ 4°$	$+46°\ 6 = t + t'$	

Soumettant ces observations au calcul,

La table Ire donne pour $\begin{cases} z = 763^{mm},\ 15 \\ z' = 600\ \ \ 95 \end{cases}$ .... $6183^{m},\ 5 = a$ / .... $4280\ \ \ 7 = b$

La table IIe donne pour $T - T' = +\ 4°$........... $5\ \ \ 9 = c$

Hauteur approchée $= a - b - c =$............. $1896^{m},\ 9$

1re correction $= \dfrac{1896^{m},9}{1000} \cdot 2\,(t + t') =$ $+\ \ 176\ \ \ 8$

Hauteur plus approchée = la somme............... $2073^{m},\ 7$

2e correction donnée par la table III pour $2073^{m},\ 7$ et 21° de latitude $=$ $+\ \ 10\ \ \ 6$

Hauteur définitive de Guanaxuato au-dessus de la mer............. $=$ $2084^{m},\ 3$

USAGE DU CERCLE RÉPÉTITEUR, POUR NIVELER.

Description abrégée du Cercle Répétiteur.

Il existe un instrument qui peut suppléer à tous les niveaux décrits dans le cours de cet ouvrage. Car il n'est aucune des opérations de l'art de niveler, que l'on ne puisse effectuer avec la plus grande exactitude, à l'aide du *cercle répétiteur*, que sa composition rend propre à devenir tour à tour, d'instrument à mesurer les angles, niveau à bulle d'air, à une ou deux lunettes, et clitomètre parfait.

Le simple énoncé des pièces essentielles qui le composent, suffira au lecteur intelligent, pour lui démontrer qu'il renferme toutes les parties intégrantes des niveaux et des clitomètres à bulle d'air; et que par conséquent aussi tous les moyens de vérification et de rectification de ces divers instrumens, pouvant s'exécuter à l'aide des pièces du cercle répétiteur, il peut lui seul les suppléer tous.

Un cercle répétiteur se compose, en dernière analyse,

1°. D'un *limbe* ou cercle entier divisé, sur une de ses faces, en grades, ou fractions de grades.

2°. D'une *lunette supérieure* à réticule mobile, dont le tuyau cylindrique est parallèle au côté du limbe divisé, contre lequel s'appuie constamment la règle qui la supporte. Cette règle peut pirouetter autour du centre du limbe, sans écarter l'axe du tuyau de la lunette de la ligne passant par ce centre, et dirigée perpendiculairement au plan du

limbe; elle porte en outre, vers ses deux extrémités, des verniers, pour estimer des fractions des divisions du cercle; et à un de ses bouts seulement une vis de rappel, buttant contre ce cercle, lorsque l'on a serré la pince dont elle est munie à cette fin.

3°. D'une *lunette inférieure*, aussi à réticule mobile, et à tuyau cylindrique, située du côté du limbe non divisé, auquel elle reste parallèle dans toutes les positions qu'on peut lui donner, en faisant tourner une règle excentrique qui la supporte. Cette règle n'a point de verniers comme celle de la lunette supérieure, mais elle est munie comme elle, d'une vis de rappel ayant la même destination.

4°. D'un niveau à bulle d'air, défendu par une boîte cylindrique adaptée à demeure, sur le flanc du tuyau de la lunette inférieure, de manière que les axes de leurs corps soient dans un même plan parallèle au limbe.

5°. D'un pied ou support de l'ensemble des pièces énoncées, composé au fond d'une tige, ou colonne reposant sur trois vis, et pouvant acquérir autour de son axe un mouvement de rotation, qu'une vis de rappel ralentit à volonté. Le limbe armé de ses lunettes, est rattaché à l'extrémité supérieure de cette colonne, par un *genou* ou mécanisme particulier, qui lui permet de prendre, relativement à son axe, toutes les positions possibles, à l'aide de deux mouvemens de rotation s'effectuant dans deux plans perpendiculaires.

Cette description abrégée du cercle répétiteur étant bien conçue, on parviendra facilement à appliquer à sa manœuvre, les préceptes donnés à l'occasion des niveaux qu'on voudra lui faire actuellement remplacer.

Trouver la différence de niveau vrai de deux points dont on connaît la distance horizontale, lors même que l'un de ces points est inaccessible.

C'est surtout, lorsque l'on n'a pour but que d'obtenir la différence de niveau vrai de deux points éloignés, que l'emploi du cercle répétiteur est avantageux.

Supposons d'abord que l'on connaisse la distance horizontale de deux points A, E, (*fig.* 1) égale à m mètres au niveau des mers, la question est de parvenir à la valeur de la différence de niveau vrai DE, de ces deux points, en ne faisant des observations qu'au seul point accessible A,

Avec le cercle répétiteur, servant comme clitomètre, on mesurera l'inclinaison apparente de la direction AE, sur l'horizon de A; ou bien l'angle $E'AZ = \delta$ que paraît faire cette direction, avec la verticale de A, lequel se nomme *distance zénithale apparente* de E, et est le complément de l'inclinaison mentionnée. Cela fait l'angle au centre C, des verticales des points A, E, étant désigné par $c = \frac{m}{10}$ secondes décimales, ainsi la réfraction dont est affectée δ sera (n°. 9, page 39) $r = 0{,}08\, c = 0{,}08 \frac{m}{10''}$; et l'on connaîtra par suite la distance zénithale vraie $EAZ = d = \delta + r$.

Alors le triangle EAC, donnant $ED + DC = AC \frac{\sin d}{\sin(d-c)}$; on aura, en désignant par ρ la distance du point A, au centre de la terre,

$$ED = \rho\left(-1 + \frac{\sin d}{\sin(d-c)}\right) = \rho\,\frac{\sin d - \sin(d-c)}{\sin(d-c)}$$

Mais si l'on remarque que

$$\sin d - \sin(d-c) = \frac{2}{R}\sin\frac{c}{2}\cos\left(d-\frac{c}{2}\right)$$

et que

$$R\sin(d-c) = \sin\left(d-\frac{c}{2}\right)\cos\frac{c}{2} - \cos\left(d-\frac{c}{2}\right)\sin\frac{c}{2}$$

$$= \cos\frac{c}{2}\sin\left(d-\frac{c}{2}\right)\left\{1-\frac{1}{R^2}\cot\left(d-\frac{c}{2}\right)\tang\frac{c}{2}\right\};$$

on aura encore en substituant

$$ED = 2\rho\frac{\frac{1}{R^2}\cot\left(d-\frac{c}{2}\right)\tang\frac{c}{2}}{1-\frac{1}{R^2}\cot\left(d-\frac{c}{2}\right)\tang\frac{c}{2}}$$

ou bien en faisant la division,

$$ED = 2\rho\frac{1}{R^2}\cot\left(d-\frac{c}{2}\right)\tang\frac{c}{2} + 2\rho\frac{1}{R^4}\cot^2\left(d-\frac{c}{2}\right)\tang^2\frac{c}{2}$$

$$+ 2\rho\frac{1}{R^6}\cot^3\left(d-\frac{c}{2}\right)\tang^3\frac{c}{2} + \text{etc.}$$

Série dont il suffit toujours de calculer le premier terme, et dans laquelle on peut, sans erreur sensible, mettre pour ρ le rayon de la terre réputée sphérique.

Type du calcul.

La distance horizontale des deux points A, E, au niveau des mers, est $m = 28505^m$; et la distance zénithale apparente de E prise en A, $\delta = 100^g 2767$, de ces données on déduit

$c = \frac{m}{10}1'' = 0^g,2850''\ 50$ $\qquad \frac{c}{2} = 0^g,1425''\ 25$

$r = 0,08\,c = 0^g,0228''\ 04$ $\qquad d = 100,\ 2995\ 91$

$\delta = 100^g,2767''\ 87$ $\qquad d-\frac{c}{2} = 100^g,1570''66$

$d = \delta + r = 100^g,2995''\ 91$

Cela fait, en se reportant au nº. 2, page 34, on verra que le diamètre de la terre réputée sphérique et exprimé en mètres, a pour logarithme 7,1049101; nous écrirons donc avec une exactitude suffisante

$$\text{Log } 2\varrho = 7,\ 1049101 \quad \text{; de plus}$$

$$\text{Log cot}\left(\delta - \frac{c}{2}\right) = 7,\ 3922026 - \text{et}$$

$$\text{Log tang}\frac{c}{2} = 7,\ 5500118 \quad \text{, faisant}$$

La somme 21, 8471245, et retranchant
2 log R = 20, il reste

Log hauteur = 1, 8471245 —, d'où résulte en passant du logarithme au nombre,

ED, hauteur de E sur A = — 70m, 327 : et par suite hauteur de A sur E = 70m, 327

Lors même que dans cet exemple, l'excès de ϱ sur le rayon de la terre s'éleverait à 4000 m, la différence de niveau calculée ne serait pas en erreur de 0m,05.

Trouver la différence de niveau vrai de deux points accessibles, mais dont on ignore la distance horizontale.

Si après avoir pris en A (*fig.* 1) avec le cercle répétiteur, la distance zénithale apparente δ, de E, on se transporte à ce dernier point pour y prendre de même la distance zénithale apparente δ', de A; ou mieux encore si deux observateurs prennent simultanément ces distances zénithales, on pourra supposer que la réfraction les affecte d'une même quantité r, en sorte que les distances zénithales vraies correspondantes soient

$$d = \delta + r \qquad\qquad d' = \delta' + r.$$

Cela posé, le triangle EAC donne

$CE = CA \frac{\sin CAE}{\sin CEA}$, ou bien, ρ désignant toujours la distance de A au centre de la terre,
$DE + \rho = \rho \frac{\sin d}{\sin d'}$, d'où $DE = \rho \frac{\sin d - \sin d'}{\sin d}$.

Ainsi pour arriver à la différence de niveau cherchée DE, il est nécessaire de voir si l'on peut passer de δ, δ', à d, d'; ce que nous saurons en cherchant la valeur de r.

c désignant toujours l'angle au centre ACE, des verticales des points A, E, et le triangle ACE donnant $ACE = ZAE - AEC$, c'est-à-dire, $c = d - (200^g - d')$, on a en substituant $c = \delta + r - 200^g + \delta' + r$; mais on sait que $r = 0,08\, c$, ou que $c = \frac{100}{8} r$, substituant encore $\frac{100}{8} r = \delta + \delta' - 200^g + 2r$, d'où enfin $r = \frac{2}{21}(\delta + \delta' - 200^g)$.

Nous pouvons donc arriver à d et d', et calculer la valeur trouvée pour DE, à laquelle nous allons donner une forme plus commode pour le calcul logarithmique. Remarquons en effet que

$$\text{Sin } d - \sin d' = \frac{2}{R} \sin\left(\frac{d-d'}{2}\right) \cos\left(\frac{d+d'}{2}\right),$$

que

$$R \sin d' = R \sin\left(\frac{d+d'}{2} - \frac{d-d'}{2}\right)$$

$$= \sin\left(\frac{d+d'}{2}\right) \cos\left(\frac{d-d'}{2}\right) - \cos\left(\frac{d+d'}{2}\right) \sin\left(\frac{d-d'}{2}\right)$$

$$= \sin\left(\frac{d+d'}{2}\right)\cos\left(\frac{d-d'}{2}\right)\left\{1 - \frac{1}{R^2}\cot\left(\frac{d+d'}{2}\right)\tang\left(\frac{d-d'}{2}\right)\right\};$$

et qu'ainsi, en substituant dans la valeur trouvée

$$DE = 2\varepsilon \frac{\frac{1}{R^2}\cot\left(\frac{d+d'}{2}\right)\tang\left(\frac{d-d'}{2}\right)}{1-\frac{1}{R^2}\cot\left(\frac{d+d'}{2}\right)\tang\left(\frac{d-d'}{2}\right)},$$

ou bien en faisant la division

$$DE = 2\varepsilon\frac{1}{R^2}\cot\left(\frac{d+d'}{2}\right)\tang\left(\frac{d-d'}{2}\right)$$
$$+ 2\varepsilon\frac{1}{R^4}\cot^2\left(\frac{d+d'}{2}\right)\tang^2\left(\frac{d-d'}{2}\right) + \text{etc.}$$

série dont il suffit toujours de calculer le premier terme.

D'après ce qui a été dit

$\frac{d-d'}{2} = \frac{\delta-\delta'}{2}$ et $\frac{d+d'}{2} = \frac{\delta+\delta'}{2} + r$, ou encore

$$\frac{d+d'}{2} = \frac{\delta+\delta'}{2} + \frac{2}{21}\left(\delta+\delta'-200^g\right)$$
$$= \frac{25}{21}\left(\frac{\delta+\delta'}{2}\right) - \frac{400^g}{21} = \frac{25}{21}\left(\frac{\delta+\delta'-32^g}{2}\right)$$

Ainsi on peut écrire en dernier résultat

$$DE = 2\varepsilon\frac{1}{R^2}\cot\frac{25}{21}\left(\frac{\delta+\delta'-32^g}{2}\right)\tang\left(\frac{\delta-\delta'}{2}\right)$$

Type du calcul.

On a observé en A la distance zénithale de E, $\delta = 99^g\,9596''\,24$, et en E la distance zénithale de A, $\delta' = 100\;\;2787\;\;67$, d'où

la différence $\delta - \delta' = -\;\;0^g\,3191\;\;43$ et

la somme $\delta + \delta' = \;\;200^g\,2383\;\;91$

Retranchant $\;\;32^g$

il reste $\delta + \delta' - 32^g = \;\;168^g\,2383\;\;91$

Nous conclurons de ce qui précède

$\frac{\delta - \delta'}{2} = -0^g, 1545'' 715$ et $\frac{25}{21}\left(\frac{\delta + \delta' - 32}{2}\right) = 100^g 1418'' 99$

Partant on a assez exactement

$\log 2\rho = 7,\ 1049101$, mais

$\log \cot \left(\frac{d+d'}{2}\right) = 7,\ 5481007$ — et

$\log \tang \left(\frac{d-d'}{2}\right) = 7,\ 3832504$ —, faisant la

somme $21,\ 8382612$, et retranchant

$2 \log R = 20,$ il reste

$\log$ hauteur $DE = 1;\ 8382612$

Passant du logarithme au nombre correspondant, hauteur $DE = 68^m, 906$.

Ainsi A est plus bas que E de cette quantité.

La mer terminant dans une seule direction l'horizon d'un lieu, trouver leur différence de niveau.

Si E (*fig.* 1) est un endroit élevé, d'où l'on découvre l'horizon A de la mer, on pourra obtenir la hauteur DE de cet endroit au-dessus du niveau des eaux, par l'observation de leur seule distance zénithale apparente $A'EZ' = \delta$.

En effet désignons par r la réfraction correspondante à δ, la vraie distance zénithale $d = \delta + r$ et l'angle au centre $ACE = c = d - 100^g = \delta + r - 100^g$, parce que le triangle EAC, est rectangle en A.

Ce même triangle donne, $CE = CA \frac{R}{\cos c}$, c'est-à-dire,

$\rho + DE = \rho \frac{R}{\cos c}$, d'où $DE = \rho \frac{R - \cos c}{\cos c}$; mais

$R - \cos c = \frac{2}{R} \sin^2 \left(\frac{c}{2}\right)$, on aura donc

$DE = \varrho \frac{2}{R} \sin^2 \left(\frac{c}{2}\right) \frac{1}{\cos c} \frac{\sin c}{\sin c}$, ou encore

$DE = \varrho \frac{2}{R} \sin^2 \left(\frac{c}{2}\right) \frac{\operatorname{tang} c}{R} \frac{1}{\sin c}$.

Or on a $\sin c = \frac{2}{R} \sin\left(\frac{c}{2}\right) \cos\left(\frac{c}{2}\right)$, substituant dans la valeur précédente elle devient

$$DE = \varrho \frac{\sin\left(\frac{c}{2}\right)}{\cos\left(\frac{c}{2}\right)} \cdot \frac{\operatorname{tang} c}{R} \text{ ou enfin } DE = \varrho \frac{1}{R^2} \operatorname{tang}\left(\frac{c}{2}\right) \operatorname{tang} c,$$

Valeur dont la forme est très-propre au calcul logarithmique.

La réfraction r, entre dans la composition de l'angle c, et l'on sait qu'à fort peu de chose près $r = \frac{8}{100} c$; on aura donc $c = \delta + \frac{8}{100} c - 100^g$, d'où

$c = \frac{100}{92} (\delta - 100^g) = 1,087 (\delta - 100^g)$.

Type du calcul.

Du sommet d'une montagne on a observé la distance zénithale δ de l'horizon de la mer, et on a trouvé $\delta = 100^g.3688$

Le centre du limbe du cercle étant à $1,^m 23$ au-dessus du sol, calculer la hauteur de la montagne?

D'abord l'équation $c = 1,087 (\delta - 100^g)$ donne

$c = 0^g,4008\ 86$ d'où $\frac{c}{2} = 0,\ 2004\ 43$

Il reste à calculer la formule trouvée $\varrho \frac{1}{R^2} \operatorname{tang}\left(\frac{c}{2}\right) \operatorname{tang} c$,

or nous avons vu que le logarithme du rayon ϱ de la terre, exprimé en mètres

$\log \varepsilon = 6,\ 8038801$ de plus

$\log \text{tang} \left(\frac{c}{2}\right) = 7,\ 4981123$ et

$\log \text{tang}\ c = 7,\ 7991465$ faisant

la somme $22,\ 1011389$ et retranchant

$2 \log R = 20,$ il reste pour

log hauteur $= 2,\ 1011389$ d'où résulte

pour la hauteur du centre de l'instrument au-dessus de la mer............... $126^{m},\ 223$

retranchant son élévation sur le sol..... $1\ \ 230$

il reste.. $124^{m},\ 993$

pour la hauteur du sommet de la montagne au-dessus de la mer.

Hauteurs des principales montagnes du globe, au-dessus du niveau de l'Océan.

EUROPE.

	Mèt.
Mont-Blanc. (Alpes)..	4775
Mont-Rose. (Alpes)...	4736
Ortler. (Tyrol)......	4699
Fisterahorn. (Suisse)..	4362
Jung-Frau. (*Idem*)...	4180
Mulahasen. (Grenade).	3555
Mont-Perdu. (Pyrén.).	3436
Col du Géant. (Alpes).	3426
Vignemale. (Pyrénées).	3356
Le Cylindre. (Pyrén.)	3332
Etna. (Sicile)........	3237
Pic du Midi. (*Idem*)..	2935
Budosch. (Transilvan.)	2924
Surul. (*Idem*)........	2924
Legnone..........	2806
Canigou. (Pyrénées)..	2781
Pointe Lomnis. (Crapats)	2701
Monte-Rotondo. (Corse)	2672
Monte-d'Oro. (*Idem*)..	2652
Lipsze. (Crapats).....	2534
Sueehaten. (Norvége).	2500
Monte-Vellino. (Apennins).............	2393
Olympe. (Grèce).....	1988
Lacha. (*Idem*).......	1988
Mont-d'Or. (France)..	1895
Cantal. (France).....	1857
Le Mezin. (Cévennes).	1774
Sierra d'Estre. (Portugal)	1700
Puy-Mary. (France)..	1658
Wenside (Yorkshire).	1627
Hussoko. (Moravie)...	1624
Schneekoppe. (Bohême)	1608
Adelat. (Suède)......	1578
Suœfials-Iokull. (Islande).............	1559
Mont-des-Géans. (Bohême)...........	1512
Puy-de-Dôme. (France)	1477
Le Ballon. (Vosges)...	1403
Pointe-Noire. (Spitzberg)............	1372

	Mèt.
Ben-Nevis. (Invernshire)	1325
Fichtelberg. (Saxe)...	1212
Vésuve. (Naples).....	1198
Mont-Parnasse. (Spitzb.)	1194
Mont-Erix. (Sicile)...	1187
Snowden. (Pays de Galles)...............	1155
Broken. (Hartz-Saxe).	1140
Sierra de Foja. (Algarbes)...............	1100
Shehelien. (Ecosse)...	1039
Hekla. (Islande)......	1013

AMÉRIQUE.

	Mèt.
Chimborazo. (Pérou)..	6530
Cayambé. (*Idem*)....	5954
Antisana. (volc. Pérou)	5833
Cotopaxi. (volc. *Idem*)	5753
Mont-Saint-Elie. (côte N.-E. Amérique)...	5513
Popocatepec. (volcan du Mexique).........	5400
Pic d'Orizaba.........	5295
Mowna-Roa. (îles Sandwich)............	5024
Sierra-Nevada. (Mexiq.)	4786
Montag. du beau Temps. (côte N.-O. Amériq.)	4549
Nevado de Toluca. (Mexique).........	4621
Coffre de Perote......	4088
Montagne d'Otaïti. (mer du Sud)...........	3323
Mont. Bleues. (Jamaïq.)	2218
Volcan de la Solfatara. (Guadeloupe)......	1557

ASIE.

	Mèt.
Pics les plus élevés de l'Himâlaya (Tibet), le 14e............	7821
Le 12e..............	7088
Le 3e...............	6959
Le 23e..............	6925
Pic de la frontière de la Chine et de la Russie................	5135
Ophyr (île de Sumatra)	3950
Mont-Liban..........	2906
Petit-Altai. (Sibérie)..	2202
Elburs. (sommet du Caucase).............	1762

AFRIQUE.

	Mèt.
Pic de Ténériffe......	3710
Montagne de Ambotismène. (Madagascar).	3507
Montag. du Pic. (Açores)	2412
Mont-Salaze. (île Bourbon).............	3313
Montagne de la Table. (cap de B.-Espérance)	1163

Passages des Alpes qui conduisent d'Allemagne, de Suisse et de France en Italie.

	Mèt.
Passage du Mont-Cervin.............	3410
de Furka...............	2530

Passage du col de Seigne	2461
du grand Saint-Bernard	2428
du col Terret	2321
du petit Saint-Bernard	2192
du Saint-Gothard	2075
du Mont-Cenis	2066
du Simplon	2005
du Splügen	1925
la poste du Mont-Cenis	1906
le col de Tende	1795
les Taures de Rastadt	1559
du Brenner	1420

Passages des Pyrénées.

	Mèt.
Port de Pinède	2516
Port de Gavarnie	2333
Port de Cavarère	2259
Passage de Tourmalet	2194

Hauteurs de quelques lieux habités du globe.

	Mèt.
Métairie d'Antisana	4101
Ville de Micuipampa. (Pérou)	3618
Ville de Quito	2908
Ville de Caxamarca. (Pérou)	2860
Santa-Fé de Bogota	2661
Ville de Cuença. (province de Quito)	2633
Mexico	2277
Hospice du Saint-Gothard	2075
Village de Saint-Véran. (Alpes-Maritimes)	2040
Village de Breuil. (Vallée du Mont-Cervin)	2007
Village de Maurin. (Basses-Alpes)	1902
Village de Saint-Remi	1604
Village de Heas. (Pyrénées)	1465
Village de Gavarnie. (*Idem*)	1444
Briançon	1306
Village de Barège. (Pyrénées)	1290
Palais de Saint-Ildefonse. (Espagne)	1155
Pontarlier	828
Madrid	608
Inspruck	566
Munich	538
Berne	536
Lausanne	507
Augsbourg	475
Salzbourg	452
Neuwchâtel	438
Plombières	421

Clermont-Ferrand. (Préfecture)	411	Vienne. (Autriche)	156
Genève	372	Lyon	155
Freyberg	372	Gottingue	134
Ulm	369	Milan. (Jardin botan.)	128
Ratisbonne	362	Bologne	121
Moscow	300	Parme	93
Gotha	285	Dresde	90
Turin	230	Paris. (Observatoire royal, 1er étage)	73
Dijon	217	Rome. (Capitole)	46
Prague	179	Wittemberg	44
Cassel	158	Berlin	40

Hauteurs de la limite inférieure des neiges perpétuelles sous diverses latitudes.

	Mèt.
A 0° de latitude, ou sous l'équateur	4800
A 20°	4600
A 45°	2550
A 65°	1500

Hauteurs de quelques édifices.

La plus haute des pyramides d'Égypte	146
La tour de Strasbourg (le Munster), au-dessus du pavé.	142
La tour de Saint-Etienne à Vienne	138
La coupole de Saint-Pierre de Rome au-dessus de la place	132
La tour de Saint-Michel à Hambourg	130
de Saint-Pierre à Hambourg	119
de Saint-Paul de Londres	110
Le dôme de Milan. (au-dessus de la place)	109
La tour des Asinelli à Bologne	107
La flèche des Invalides. (au-dessus du pavé)	105
Le sommet du Panthéon. (au-dessus du pavé)	79
La balustrade de la tour de Notre-Dame. (au-dessus du pavé)	66
La colonne de la place Vendôme	43
La plate forme de l'Observatoire royal	27
La mâture d'un vaisseau français de 120 canons au-dessus de la quille	73

FIN.

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS CE VOLUME.

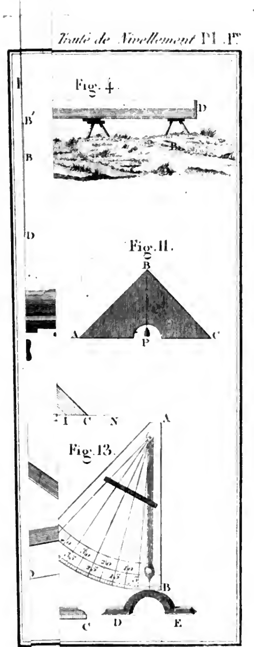
SECONDE PARTIE.

FIN DE LA TABLE.

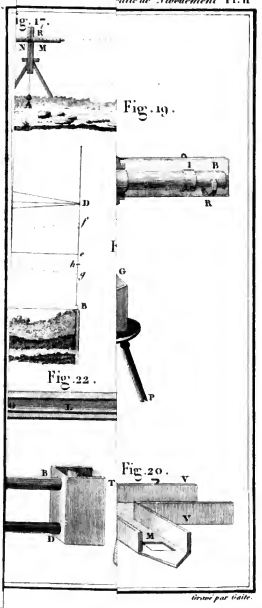
Extrait du Catalogue des livres qui se trouvent chez BARROIS L'AINÉ, libraire, rue de Seine, n°. 10, F. S. G., à Paris.

VERKAVEN. Art de lever les plans, appliqué à tout ce qui a rapport à la guerre, à la navigation et à l'architecture civile et rurale. Seconde édition, revue, corrigée et augmentée. In-8°. fig.

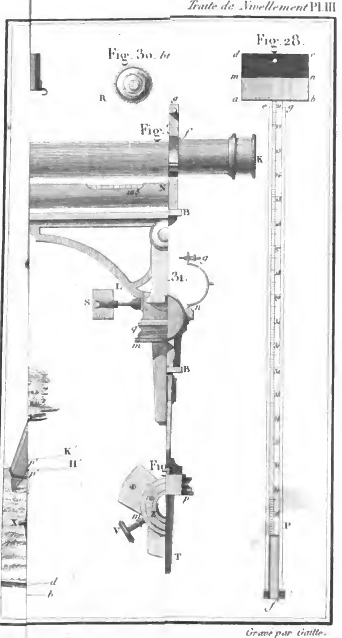
BLONDEL. Architecture française, ou Description des maisons royales et des plus beaux édifices de Paris. 4 vol. in-fol. fig.
—— Cours d'architecture, ou Traité de la décoration, distribution et construction des bâtimens. 12 vol. in-8°., dont 6 de planches.
Choix des moyens propres à soulever les navires submergés dans les lieux sujets au flux et reflux, recueillis dans les mémoires envoyés au concours ouvert par la Société des sciences, belles-lettres et arts de Bordeaux. Seconde édition, in-4°. fig.
Détail général des fers, fonte, serrurerie et clouterie, à l'usage des bâtimens avec les tarifs, par BONNOT. In-8°.
Détail des ouvrages de menuiserie pour les bâtimens, où l'on trouve les prix de chaque espèce d'ouvrage, avec les tarifs nécessaires pour le calcul du Toisé, par POTAIN. Seconde édition, in-8°. fig.
Dictionnaire de la Marine française, par ROMME. Seconde édition, in-8°. fig.
Elémens d'architecture, de fortification et de navigation, par P. D. L. F. In-8°. fig.
FRÉZIER. Dissertation critique sur les ordres d'architecture. In-4°. fig. La même, en grand papier.
—— Elémens de stéréotomie. 2 vol. in-8°. fig.
—— Théorie et pratique de la coupe des pierres et des bois, ou Traité de stéréotomie. 3 vol. in-4°. fig.
—— Traité des feux d'artifice pour le spectacle et la guerre. In-4°.
GINET. Manuel de l'arpenteur, où l'on traite de l'arithmétique, des fractions décimales, des proportions, la planimétrie, la trigonométrie, la géodésie, le jeaugeage, etc. etc. avec le supplément. 2 vol. in-8°. fig.
—— Toisé général du bâtiment. In-8°. fig.
Guide de l'officier particulier en campagne, ou Connaissances nécessaires pendant la guerre aux officiers particuliers, par M. de CESSAC. Troisième édition. 2 vol. in-8°.
GUILLAUME DE VAUDONCOURT. Mémoires pour servir à l'histoire de la guerre entre la France et la Russie, en 1812, avec un atlas militaire. 2 vol. in-4°. — Le même, pap. vélin, fig. color.
—— Histoire de la guerre soutenue par les Français en Allemagne, en 1813, avec un atlas militaire. 2 vol. in-4°. — La même, pap. vélin, fig. color.
—— Histoire des campagnes d'Italie, en 1813 et 1814, avec un atlas militaire. 2 vol. in-4°.
—— Histoire des campagnes d'Annibal en Italie, pendant la deuxième guerre punique. 4 vol. in-4°., dont un de planches.
Mémoires pour servir à l'Histoire de France, en 1815, avec le plan de la bataille de Mont-Saint-Jean. In-8°.
M. NOIZET DE S. PAUL. Elémens de fortification, à l'usage des officiers des états majors des armées, et mis à la portée des jeunes élèves militaires. 2 vol. in-8°. 71 fig.
—— Traité complet de fortification. Troisième édition, revue et augmentée. 2 vol. in-8°. 78 fig.
Nouvelles règles pour la pratique du dessin et du lavis de l'architecture civile et militaire, par DELAGARDETTE. In-8°. fig.
Traité de la coupe des pierres, ou Méthode facile et abrégée pour se perfectionner en cette science, par DE LA RUE. In-fol. fig.



Gravé par Caille

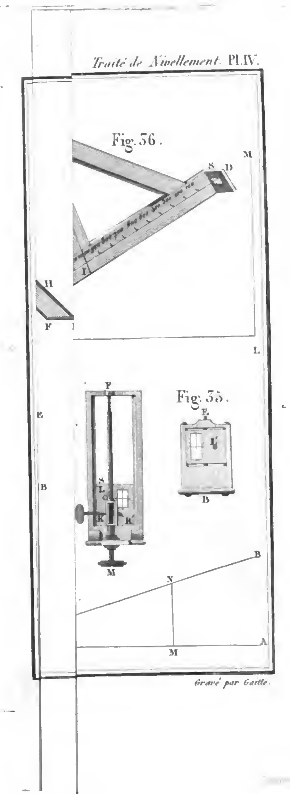


Gravé par Gaite.

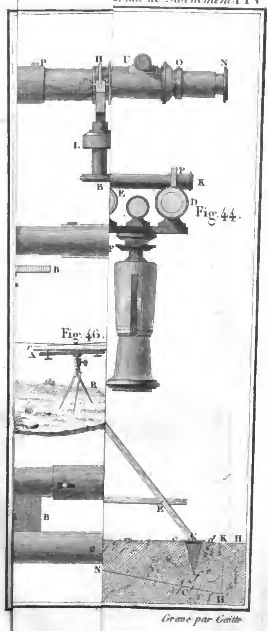


Gravé par Gaitte.

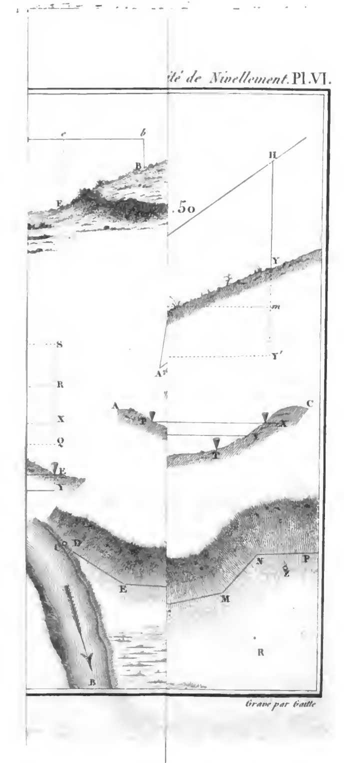




Gravé par Gattle.

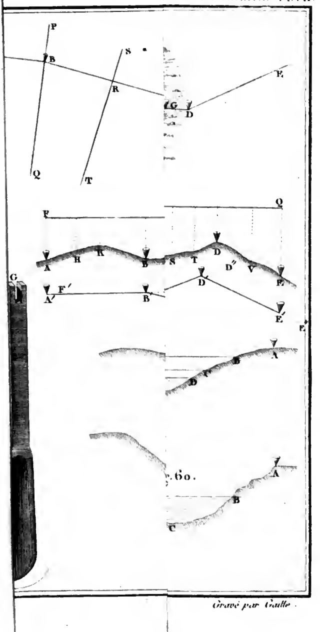


Gravé par Gaitte

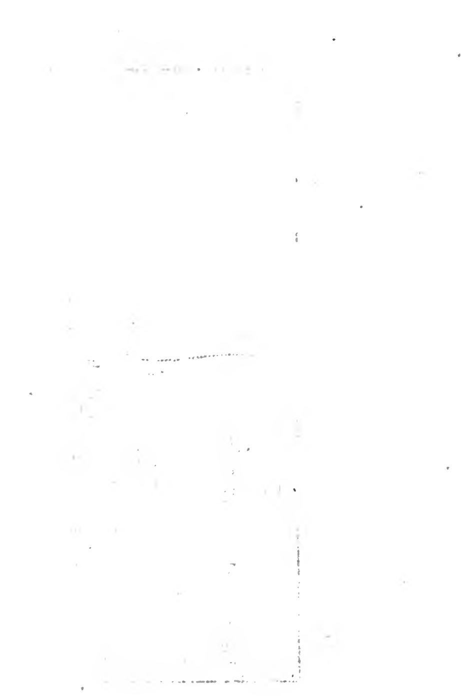


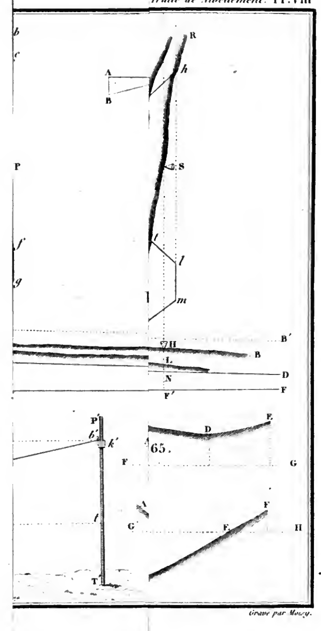
Gravé par Gattle



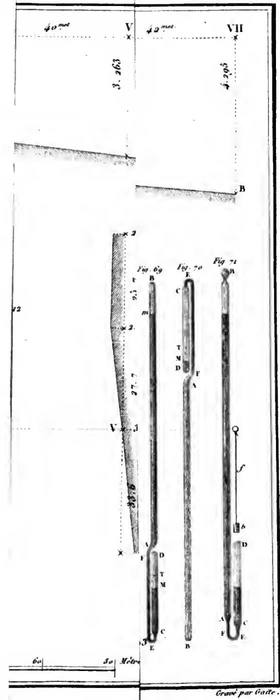


Gravé par Gaulle.





Gravé par Mouzy.



Gravé par Gatte.





